



TUGAS AKHIR - SS141501

**PERENCANAAN DAN OPTIMASI BIAYA PREVENTIVE  
MAINTANANCE TRANSFORMATOR DI PT. PLN (PERSERO) APP  
SURABAYA BERDASARKAN ANALISIS RELIABILITAS**

TUTUT JANUAR  
NRP 1312 106 004

Dosen Pembimbing  
Drs. Haryono, M.SiE

Program Studi S1 Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**TUGAS AKHIR - SS141501**

**PERENCANAAN DAN OPTIMASI BIAYA PREVENTIVE  
MAINTANANCE TRANSFORMATOR DI PT. PLN (PERSERO) APP  
SURABAYA BERDASARKAN ANALISIS RELIABILITAS**

**TUTUT JANUAR  
NRP 1312 106 004**

**Dosen Pembimbing  
Drs. Haryono, M.SIE**

**Program Studi S1 Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - SS141501**

**PREVENTIVE MAINTANANCE OF TRANSFORMER PLANNING  
AND COST OPTIMIZATION IN PT.PLN (PERSERO) APP  
SURABAYA BASED ON RELIABILITY ANALYSIS**

**TUTUT JANUAR**  
**NRP 1312 106 004**

Supervisor  
Drs. Haryono, M.SIE

Undergraduate Programme of Statistics  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

# LEMBAR PENGESAHAN

## PERENCANAAN DAN OPTIMASI BIAYA *PREVENTIVE MAINTANANCE* TRANSFORMATOR DI PT. PLN (PERSERO) APP SURABAYA BERDASARKAN ANALISIS RELIABILITAS

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

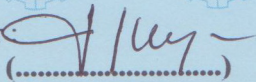
Oleh :

**TUTUT JANUAR**  
**NRP. 1312 106 004**

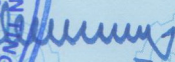
Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

**Drs. Harvono. M.SIE**

**NIP. 19520919 197901 1 001**

  
(.....)

**Mengetahui**  
**Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS**

  
**Dr. Muhammad Mashuri, MT**  
**NIP. 19620408 198701 1 001**

**SURABAYA, JULI 2015**

# **PERENCANAAN DAN OPTIMASI BIAYA *PREVENTIVE MAINTANANCE* TRANSFORMATOR DI PT.PLN (PERSERO) APP SURABAYA BERDASARKAN ANALISIS RELIABILITAS**

**NamaMahasiswa** : Tutut Januar  
**NRP** : 1312106004  
**Jurusan** : Statistika FMIPA-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Drs. Haryono, M.SIE

## **Abstrak**

*Listrik memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan. Adanya energi listrik membantu manusia dalam memenuhi dan menyelesaikan kebutuhan hidupnya. Dengan semakin tingginya konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat, membuat PT.PLN (Persero) APP Surabaya harus menyediakan pasokan energi listrik dengan kualitas yang memadai dan tidak boleh putus selama 24 jam. Transformator adalah salah satu peralatan yang sangat penting dalam penyaluran listrik. Kegagalan fungsi transformator ini mengakibatkan pasokan listrik ke pelanggan menjadi terganggu dan berkurang sehingga menimbulkan kerugian yang besar bagi pelanggan seperti tidak berjalannya proses produksi industri dan juga kehilangan pendapatan bagi PT.PLN (Persero) APP Surabaya, oleh karena itu permasalahannya adalah bagaimana karakteristik data lifetime transformator serta jadwal perencanaan perawatan transformator yang dapat mengoptimalkan biaya perawatan maupun perbaikan transformator. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan metode reliability. Tujuan dari penelitian ini menentukan jadwal perencanaan yang menghasilkan besaran optimum untuk perawatan transformator. Berdasarkan hasil pengujian, jadwal perencanaan perawatan transformator berdasarkan distribusi Generalized Pareto yaitu setelah transformator beroperasi selama 9 bulan dengan estimasi biaya sebesar Rp 1.720.319 untuk penjadwalan dengan durasi bulanan, sedangkan penjadwalan dengan durasi tahunan yaitu setelah transformator beroperasi selama 1 tahun 6 bulan dengan estimasi biaya sebesar Rp. 3.369.809.*

**Kata Kunci:** *Analisis Reliabilitas, Listrik, Transformers*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **PREVENTIVE MAINTANANCE OF TRANSFORMER PLANNING AND COST OPTIMIZATION IN PT.PLN (PERSERO) APP SURABAYA BASED ON RELIABILITY ANALYSIS**

**Name : Tutut Januar**  
**NRP : 1312 106 004**  
**Study Program : Degree Program**  
**Advisor : Drs. Haryono, M.SIE**

## **ABSTRACT**

*Electricity has a very important role in the life. Electrical energy help people in fulfilling and completing the necessities of life. Demand for electrical energy consumption required by the public has increased, that PT PLN (Persero) Surabaya APP must provide an electric energy supply with adequate quality and should not be broken for 24 hours. The transformer is one of the vital equipment in an electric distribution. Transformer malfunction resulted in electricity supply to customers was interrupted, and reduced then cause large losses for customers such as industrial production process is inhibited and also the loss of income for PT.PLN (Persero) APP Surabaya. Reliability is an optimally maintenance method that combines a statistical approach for planning maintenance activities based on the reliability of a component. Therefore, the problem is how the characteristics of the data lifetime transformer and transformer maintenance planning schedule that can optimize the cost of maintenance and repair transformers. Those problems can be solved by using the reliability method. This study aims to determine the planning schedule transformer maintenance and optimum amount of transformer maintenance costs. Based on test results, schedule transformer maintenance planning based on Generalized Pareto distribution after the transformer in operation for 9 months with an estimated cost of Rp 1.720.319 for scheduling monthly duration, whereas the scheduling with the annual duration after the transformer in operation for 1 year 6 months with an estimated cost of Rp. 3.369.809*

***Keywords : electric, transformer, reliability analysis***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas seluruh limpahan rahmat dan hidayah yang tidak hentinya mengalir, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PERENCANAAN DAN OPTIMASI BIAYA *PREVENTIVE MAINTENANCE* TRANSFORMATOR DI PT. PLN (PERSERO) APP SURABAYA BERDASARKAN ANALISIS RELIABILITAS”** dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam menyusun Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, MT selaku Ketua Jurusan Statistika yang telah memberikan berbagai fasilitas untuk menunjang penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, MT selaku Kaprodi S-1 Jurusan Statistika atas dukungan dan semua informasi yang diberikan.
3. Bapak Dr. Ir. Setiawan. MS selaku dosen wali yang telah sabar dalam memberikan motivasi dan dukungan bagi penulis.
4. Bapak Drs. Haryono, M.SIE selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing penulis dari awal hingga akhir penyusunan Tugas Akhir ini serta selalu memberikan dorongan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studi.
5. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, MT dan Ibu Diaz Fitra Aksioma, S.Si, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
6. Ibu, Nenek, Sinta dan keluarga tercinta atas seluruh doa, kasih sayang, semangat, serta nasihat yang telah diberikan kepada penulis.
7. Muhammad Suhud beserta keluarga atas keceriaan dan semangat yang diberikan. Terima kasih atas doa dan

kesabarannya dalam memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis.

8. Bapak Fajar, Totok dan Ibu Yati yang dengan sabar, memperbolehkan dan selalu memberikan penjelasan mengenai data serta karyawan dan pihak dari APP Surabaya.
9. Bapak Fajar, Unung, Sugiarto, Rizal, Arifin serta Ibu Dwi yang selalu memberikan ijin kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan di sela-sela kesibukan bekerja. Terima kasih kepada Ibu Yani, Ibu Anies, Mbak Ratna, Mas Odik, Mas Farizi, Mas Dimas, Mas Teguh, Mas Hari dan seluruh keluarga besar *Enciety Bussines Consult* atas segala semangat, keceriaan, dan dukungan yang diberikan.
10. Teman-teman Lintas Jalur 2012 dan 2013 atas kebersamaan dan kebahagiaan yang telah diberikan. Terima kasih atas semua keceriaan yang selama ini menjadi penghibur bagi penulis.
11. Teman-teman Lintas Jalur 2012 Genap, Mbak Nia, Diana, Dona, Marini, Mas Herry dan Ivan atas kebersamaannya dalam suka dan duka selama menempuh studi.
12. Mas Odik, Mas Arifin, Mas Indra atas ilmu, masukan, dan informasi selama menyusun Tugas Akhir.
13. Semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Statistika, dan banyak lagi yang sekecil apapun tetap berarti bagi penulis.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca. Penulis menyadari Tugas Akhir ini masih belum sempurna, sehingga penulis menerima saran dan kritik yang bersifat membangun guna perbaikan untuk penelitian-penelitian di masa mendatang.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
ABSTRAK .....	ii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Statistika Deskriptif.....	5
2.1.1 <i>Skewness</i> .....	5
2.1.2 Kurtosis .....	5
2.2 Uji <i>Kruskal-Wallis</i> .....	6
2.3 Uji Kolmogorov-Smirnov .....	6
2.4 Keandaan ( <i>Reliability</i> ).....	7
2.5 Laju Kegagalan.....	8
2.5.1 <i>Mean Time to Failure</i> .....	9
2.5.2 <i>Mean Time to Repaire</i> .....	9
2.5.3 Distribusi Kegagalan .....	10
2.6 Biaya Pemeliharaan dan Perbaikan .....	16
2.7 Penaksiran Parameter .....	17
2.8 Transformator .....	18
2.8.1 Bagian-Bagian Transformator .....	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data.....	25
3.2 Variabel Penelitian .....	25
3.3 Langkah-Langkah Analisis.....	25
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Statistika Deskriptif Data <i>Lifetime</i> dan Waktu Perbaikan Transformator.....	29
4.2 Pengujian <i>Kruskal-Wallis</i> .....	32
4.3 Penentuan Distribusi .....	33
4.4 Pendugaan Parameter Distribusi Data .....	35
4.5 Elemen Reliabilitas Data <i>Lifetime</i> Transformator .....	36
4.6 Perhitungan Perbaikan Kerusakakan dan Perbaikan <i>Preventive</i> .....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran .....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN .....	53

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 4.1</b> Statistik Deskriptif <i>Lifetime</i> Transformator Berdasarkan Merk Transformator .....	29
<b>Tabel 4.2</b> Statistik Deskriptif Waktu Perbaikan Transformator Berdasarkan Merk Transformator .....	31
<b>Tabel 4.3</b> Pengujian <i>Kruskal-Wallis</i> Transformator .....	32
<b>Tabel 4.4</b> Ranking Distribusi Data <i>Lifetime</i> Transformator .....	34
<b>Tabel 4.5</b> Pengujian Distribusi .....	35
<b>Tabel 4.6</b> Parameter Distribusi Transformator .....	36
<b>Tabel 4.7</b> Laju Kerusakan Transformator .....	40
<b>Tabel 4.8</b> Reliabilitas Transformator .....	42
<b>Tabel 4.9</b> Nilai Optimasi $t_p$ dan $C(t_p)$ .....	46

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar2.1</b> Inti Distribusi Eksponensial ( $\lambda = 0,5$ ; $\lambda = 1$ ; $\lambda = 1,5$ ) .....	10
<b>Gambar2.2</b> Kumparan Phasa RS Distribusi Weibull ( $\lambda=1,k=0.5$ ; $\lambda=1,k=1$ ; $\lambda=1,k=1.5$ ; $\lambda=1,k=5$ ) .....	11
<b>Gambar2.3</b> Distribusi Log Normal ( $\mu=0$ ; $\sigma=0.25,0.5,1$ ).....	12
<b>Gambar2.4</b> Distribusi Johnson SB ( $\gamma=0.5,\delta=0.5,\xi=3,\lambda=15$ ; $\gamma=1,\delta=2,\xi=3,\lambda=15$ ; $\gamma=2,\delta=2,\xi=3,\lambda=15$ ) .....	18
<b>Gambar2.5</b> Inti Distribusi Generalized Pareto ( $\sigma=1,\theta=0,k<0$ ; $\sigma=1,\theta=0,k=0$ ; $\sigma=1,\theta=0,k>0$ ).....	14
<b>Gambar2.6</b> Distribusi Generalized Error ( $\mu=0,\sigma=1,n=2$ ; $\mu=0,\sigma=2,n=2$ ; $\mu=0,\sigma=3,n=2$ ; $\mu=0,\sigma=4,n=2$ ).....	15
<b>Gambar2.7</b> Distribusi Error ( $\mu=0,\sigma=1,n=100$ ; $\mu=0,\sigma=1,n=2$ ; $\mu=0,\sigma=1,n=1$ ; $\mu=0,\sigma=1,n=7$ ).....	15
<b>Gambar2.8</b> Inti Besi dan Laminasi yang diikat <i>Fiber Glass</i> ..	19
<b>Gambar2.9</b> Kumparan Phasa RST .....	20
<b>Gambar2.10</b> Konstruksi Bushing Transformator.....	21
<b>Gambar2.11</b> Konservator Transformator.....	21
<b>Gambar2.12</b> Transformator Tipe Conventional Beradiator...	23
<b>Gambar3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	27
<b>Gambar4.1</b> Histogram <i>Lifetime</i> dari masing-masing merk Transformator.....	30
<b>Gambar 4.2</b> Histogram Data <i>Lifetime</i> Semua merk Transformator .....	33
<b>Gambar4.3</b> Laju Kerusakanmasing-masing Distribusi .....	41
<b>Gambar4.4</b> Plot Reliabilitas Distribusi <i>Generalized Pareto</i> ..	42
<b>Gambar4.5</b> Plot $t_p$ dan $C(tp)$	

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran A</b>	Data Penelitian.....53
<b>Lampiran B</b>	Statistika Deskriptif Data <i>Lifetime</i> dan Waktu Perbaikan Transformator .....54
<b>Lampiran C</b>	Uji Kruska-Wais Transformator .....54
<b>Lampiran D</b>	Distribusi Data <i>Lifetime</i> Transformator .....55
<b>Lampiran E</b>	Estimasi Parameter Distribusi Data <i>Lifetime</i> Transformator .....57
<b>Lampiran F</b>	Plot Distribusi Data <i>Lifetime</i> Transformator ....61
<b>Lampiran G</b>	Statistik Deskriptif Data Gabungan .....62
<b>Lampiran H</b>	Plot Reliabilitas Distribusi Johnson Sb dan Error .....63
<b>Lampiran I</b>	Nilai C(tp) bulanan .....54
<b>Lampiran J</b>	Nilai C(tp) tahunan .....55

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Listrik memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan. Adanya energi listrik membantu manusia dalam memenuhi dan menyelesaikan kebutuhan hidupnya. Energi listrik dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi utama dalam setiap kegiatan baik kegiatan rumah tangga, bisnis, industri, teknologi, pendidikan dan kegiatan yang lainnya. Pasokan tenaga listrik merupakan salah satu objek vital untuk mengendalikan stabilitas negara, khususnya di Indonesia. Mulai peralatan elektronik sederhana sampai peralatan elektronik untuk mengendalikan aset negara menggunakan energi listrik. Seiring berkembangnya zaman, maka perkembangan teknologi juga berbanding lurus dengan kebutuhan energi listrik. Beberapa upaya telah dilakukan untuk mencegah agar tidak terjadi kekurangan pasokan listrik.

PT. PLN Area Pelaksana Pemeliharaan (APP) Surabaya merupakan salah satu unit PLN di bawah kementerian BUMN yang bergerak di bidang pemeliharaan. Tugas pokok dari APP Surabaya ini adalah memelihara semua transformator yang ada di garduk induk wilayah Jawa Timur. Ada 36 gardu induk yang masuk dalam APP Surabaya dengan jumlah transformator sebanyak 76 transformator.

Dengan semakin tingginya konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat, membuat PT. PLN (Persero) APP Surabaya harus menyediakan pasokan energi listrik dengan kualitas yang memadai dan tidak boleh putus selama 24 jam. Salah satu upaya agar tidak terjadi kekurangan pasokan listrik maka komponen penting pada sistem kelistrikan seperti transformator harus dijaga keandalannya, salah satunya dengan melakukan *preventive maintenance* sehingga pada saat aktivitas produksi berlangsung tidak mengalami hambatan

karena komponen utama pada gardu induk tersebut tidak berfungsi. Adapun tujuan dari *preventive maintenance* adalah mendeteksi lebih awal terjadinya kerusakan atau kegagalan, meminimalisasi terjadinya kegagalan serta mengoptimalkan biaya operasional dan biaya perawatan yang disebabkan oleh kerusakan transformator.

Transformator adalah salah satu peralatan yang sangat penting dalam penyaluran listrik. Dalam kondisi yang seperti ini transformator diharapkan dapat beroperasi semaksimal mungkin. Mengingat cara kerja transformator yang berat, tidak menutup kemungkinan suatu saat transformator tersebut mengalami penurunan kinerja dan kemampuan fungsinya. Kegagalan fungsi transformator ini mengakibatkan pasokan listrik ke pelanggan menjadi terganggu dan berkurang sehingga menimbulkan kerugian yang besar bagi pelanggan seperti tidak berjalannya proses produksi industri dan juga kehilangan pendapatan bagi PT.PLN (Persero) APP Surabaya. *Reliability* merupakan suatu program perawatan secara optimal yang mengombinasikan pendekatan statistik untuk merencanakan kegiatan perawatan berdasarkan keandalan suatu sistem. Untuk selanjutnya metode *reliability* ini digunakan untuk menilai keandalan serta merencanakan *preventive maintenance* untuk transformator.

Penelitian sebelumnya mengenai *preventive maintenance* pada transformator adalah penjadwalan dan optimasi biaya perawatan insulasi minyak transformator distribusi di PT.PLN (Persero) UP&J Surabaya Utara dengan menggunakan metode pemodelan Markov oleh Haryono (2010). Analisis perawatan unit pembangkitan Gresik unit III dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) oleh Wahyudi (2010). Selain itu terdapat penelitian lainnya mengenai analisis keandalan transformator gardu induk wilayah surabaya dengan menggunakan metode Monte Carlo oleh Prabowo (2011). Penelitian lainnya yaitu optimasi *preventivemaintanance* pada mesin tuber dan bottemer dengan metode analisisreliabilitas oleh Huda (2013). Pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan dan

optimasi biaya *preventive maintenance* transformator di PT.PLN (Persero) APP Surabaya.

## **2.2. Rumusan Masalah**

Konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat semakin meningkat, hal ini berbanding lurus dengan kemajuan teknologi yang ada. Dengan demikian membuat PT. PLN (Persero) APP Surabaya berupaya untuk memaksimalkan pasokan energi listrik yang disalurkan ke pelanggan. Untuk memenuhi kebutuhan energi itu, PT. PLN (Persero) APP Surabaya harus melakukan perawatan secara kontinyu terhadap transformator, karena transformator merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam kelistrikan. Apabila transformator mengalami gangguan atau kerusakan maka penyaluran pasokan energi listrik ke pelanggan menjadi terganggu, sehingga perlu diketahui bagaimana karakteristik data *lifetime* dan waktu perbaikan dari transformator yang ada di PT.PLN (Persero) APP Surabaya. Selain itu juga bagaimana jadwal perencanaan perawatan transformator serta berapa optimasi biaya perawatan yang dapat diminimalisasi oleh PT.PLN (Persero) APP Surabaya berdasarkan jadwal perencanaan perawatan tranformator dengan menggunakan metode reliabilitas.

## **2.3. Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik data data *lifetime* dan waktu perbaikan dari transformator yang ada di PT.PLN (Persero) APP Surabaya.
2. Mendapatkan jadwal perencanaan perawatan transformator di PT.PLN (Persero) APP Surabaya.
3. Mendapatkan besaran optimasi biaya perawatan yang dapat diminimalisasi oleh PT.PLN (Persero) APP Surabaya berdasarkan jadwal perencanaan.

## **2.4. Manfaat Penulisan**

Dari penelitian ini akan memberikan manfaat bagi PT.PLN (Persero) APP Surabaya dapat mengetahui jadwal perawatan transformator yang menghasilkan pasakon energi listrik yang maksimal serta mengetahui biaya perawatan yang optimal sesuai dengan jadwal perencanaan perawatan.

## **2.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data gangguan yang menyebabkan pemadaman transformator adalah data selama periode 2009-2014 yang disebabkan oleh gangguan primer.
2. Transformator yang digunakan sebagai data yaitu tranformator 150/20 kv.
3. Biaya penggantian transformator yang digunakan tanpa memepertimbangkan kapasitas dari transformator.
4. Transformator yang telah diperbaiki dianggap memiliki kinerja seperti transformator yang baru.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif adalah ringkasan dan eksposisi dari suatu komponen penting dalam suatu data. Bhattacharyya (1997) menyatakan bahwa statistika deskriptif disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan perhitungan tentang ukuran pemusatan dan penyebaran.

#### 2.1.1. *Skewness*

*Skewness* merupakan derajat letak simetran atau kejauhan dari simetri suatu distribusi (Dajan, 1991). Jika kurva frekuensi suatu distribusi mempunyai ekor yang lebih panjang ke kanan, maka distribusi tersebut mempunyai kemiringan positif. Hal tersebut berlaku sebaliknya, jika kurva frekuensi suatu distribusi mempunyai ekor yang lebih panjang ke kiri maka distribusi tersebut mempunyai kemiringan negatif. Nilai *skewness* dari distribusi normal adalah nol. Nilai *skewness* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$b_1 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})/s]^3 \quad (2.1)$$

keterangan:

$x_i$  = data ke-i

$\bar{x}$  = rata-rata (*mean*)

$n$  = banyaknya data

#### 2.1.2. *Kurtosis*

Kurtosis merupakan ukuran kecenderungan data berada di luar distribusi (Dajan, 1991). Kurtosis dari distribusi normal adalah 3, artinya jika kurtosis lebih besar dari 3 maka data cenderung berada di luar lingkupan distribusi normal. Sedangkan jika kurtosis lebih kecil dari 3 maka data cenderung berada di dalam lingkupan distribusi normal. Nilai kurtosis dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$b_1 = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(x_i - \bar{x})}{s} \right]^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (2.2)$$

keterangan:

$x_i$  = data ke-i

$\bar{x}$  = rata-rata (*mean*)

$n$  = banyaknya data

$s$  = standard deviasi

## 2.2. Uji *Kruskal-Wallis*

Uji *Kruskal-Wallis* digunakan untuk mengetahui apakah beberapa kelompok data memiliki median yang sama atau tidak (Daniel, 1989). Apabila data memiliki median yang sama maka data diasumsikan berasal dari populasi yang sama. Dengan demikian data tersebut dapat digabungkan menjadi satu buah data baru. Hipotesis dari uji *Kruskal-Wallis* adalah sebagai berikut

$H_0$  :  $k$  sampel populasi memiliki median yang sama

$H_1$  : minimal ada dua sampel populasi memiliki beda median dengan statistik uji

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (2.3)$$

Apabila nilai  $H$  lebih besar dari nilai pada tabel *Chi-Square* dengan derajat bebas  $k-1$  maka keputusannya adalah tolak  $H_0$  (Daniel, 1989). Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa data tidak bisa digabungkan.

## 2.3. Uji *Kolmogorov-Smirnov*

Uji *Kolmogorov-Smirnov* dilakukan untuk mengetahui apakah residual berdistribusi normal atau tidak. Hipotesis yang akan diuji adalah sebagai berikut.

$H_0$  :  $F(x) = F_0(x)$  (Data mengikuti distribusi teoritis  $F_0(x)$ )

$H_1$  :  $F(x) \neq F_0(x)$  (Data tidak mengikuti distribusi teoritis  $F_0(x)$ )

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut.



$$D = \sup |S(x) - F_0(x)| \quad (2.4)$$

keterangan:

$D$  = jarak vertikal terjauh antara  $F_0(x)$  dan  $S(x)$

$S(x)$  = fungsi peluang kumulatif yang dihitung dari data sampel

$F_0(x)$  = fungsi distribusi yang dihipotesiskan

$F(x)$  = fungsi distribusi yang belum diketahui

Hipotesis nol ditolak jika  $D > D_{(1-\alpha, n)}$  dengan  $\alpha$  adalah taraf signifikansi dan  $n$  adalah ukuran sampel (Daniel, 1989). Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa data tidak mengikuti distribusi teoritis  $F_0(x)$ .

## 2.4. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem yang dapat berfungsi dengan baik untuk melakukan tugas pada kondisi dan dalam selang waktu tertentu. Keandalan banyak digunakan dalam industri untuk merancang strategi pemeliharaan untuk mendapatkan biaya produksi yang minimum (ekonomis). Jadi untuk meningkatkan *profitability* adalah melalui peningkatan *reliability* (Ebeling, 2010).

Dalam mengevaluasi keandalan, variabel random yang dipakai umumnya adalah waktu dengan:

$$R(t) = P\{T \geq t\} \quad (2.5)$$

dimana:  $R(t) \geq 0$ ,  $R(0)=1$  dan  $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$

$R(t)$  = Probabilitas waktu kegagalan dimana nilainya lebih besar atau sama dengan  $t$ .

Jika didefinisikan menjadi

$$F(t) = 1 - R(t) = P\{T < t\} \quad (2.6)$$

dimana:  $F(0)=0$  dan  $\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$

$F(t)$  = Probabilitas kegagalan yang terjadi sebelum waktu  $t$

Menurut Ebeling (2010), pada saat  $t=0$  komponen atau sistem dalam kondisi akan beroperasi, sehingga probabilitas komponen atau sistem itu untuk mengalami kegagalan pada saat  $t=0$  adalah 0. Pada saat  $t = \infty$ , probabilitas untuk mengalami

kegagalan dari suatu komponen atau sistem yang beroperasi akan cenderung mendekati 1.

Dengan  $R(t)$  sebagai fungsi keandalan dan  $F(t)$  sebagai fungsi distribusi kumulatif dari distribusi kegagalan maka

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.7)$$

disebut sebagai *probability density function* dimana fungsi ini menggambarkan bentuk dari *failure distribution* yang meliputi

$$f(t) \geq 0 \text{ dan } \int_0^{\infty} f(t)dt = 1 \text{ sehingga}$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \text{ dan } R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2.8)$$

## 2.5. Laju Kegagalan

Menurut Ebeling (2010) laju kegagalan adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi dalam selang waktu tertentu dengan total waktu operasi dari suatu komponen atau sistem.

Probabilitas dari komponen untuk mengalami kegagalan pada interval waktu  $t$  dan  $t + \Delta t$ , jika komponen itu diketahui berfungsi pada saat  $t$  dapat dinotasikan dalam bentuk fungsi distribusi kumulatif sebagai  $F(t + \Delta t) - F(t)$  sehingga menjadi

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \quad (2.9)$$

Dengan interval waktu  $\Delta t$  dan membuat  $\Delta t \rightarrow 0$ , maka akan diperoleh laju kegagalan dari suatu komponen dan dinotasikan dengan  $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad (2.10)$$

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln R(t) \text{ atau } R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(u) du} \quad (2.11)$$

Untuk laju kegagalan yang konstan maka  $R(t) = e^{-\lambda t}$

### 2.5.1. Mean Time to Failure

*Mean Time to Failure* merupakan rata-rata waktu suatu sistem akan beroperasi sampai terjadi kegagalan pertama kali. Waktu rata-rata kegagalan (MTTF) dari suatu komponen yang memiliki fungsi densitas kegagalan ( $f(t)$ ) didefinisikan oleh nilai harapan dari komponen. Secara matematis waktu rata-rata kegagalan dapat dinotasikan sebagai

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (2.12)$$

jika  $MTTF < \infty$  maka  $MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$

Untuk komponen yang memiliki fungsi keandalan  $R(t) = e^{-\lambda t}$  maka

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.13)$$

### 2.5.2. Mean Time to Repair

*Mean Time to Repair* merupakan waktu dimana suatu produk atau sistem mulai rusak sampai selesai diperbaiki. Secara umum, waktu perbaikan diberlakukan sebagai variabel random karena kejadian yang berulang-ulang dapat mengakibatkan perbaikan yang berbeda-beda. MTTR dapat diperoleh dengan menggunakan rumus

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \cdot h(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t)) dt \quad (2.14)$$

dimana:

$h(t)$  : fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan

$H(t)$  : fungsi distribusi kumulatif untuk data waktu perbaikan  
 $t$  : waktu

### 2.5.3. Distribusi Kegagalan

Menurut Gaspersz (2002) distribusi kegagalan adalah cara untuk mengetahui seberapa besar kegagalan terjadi. Beberapa distribusi yang sering digunakan dalam keandalan antara lain.

#### 1. Distribusi Ekspensial

Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah berdistribusi secara eksponensial dengan parameter  $\lambda$  maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai berikut (O'Connor, 2011)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.15)$$

*Mean Time to Failure* dari distribusi eksponensial adalah

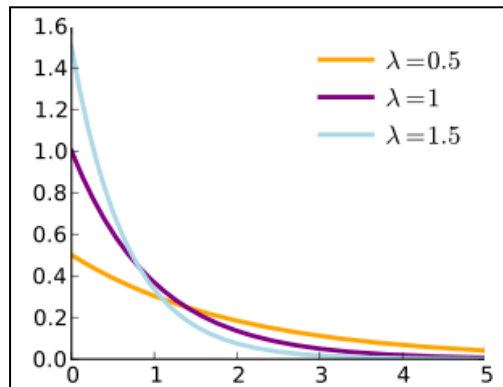
$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.16)$$

dengan *variance*  $\sigma^2 = \int_0^{\infty} \left(t - \frac{1}{\lambda}\right)^2 \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda^2}$

dan fungsi keandalannya adalah

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.17)$$

Berikut ini adalah beberapa bentuk distribusi Ekspensial dengan parameter  $\lambda$ .



**Gambar 2.1.** Distribusi Ekspensial ( $\lambda = 0,5$  ;  $\lambda = 1$  ;  $\lambda = 1,5$ )

## 2. Distribusi Weibull

Jika *time to failure* dari suatu komponen  $t$  mengikuti distribusi Weibull maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai berikut (O'Connor, 2011)

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left( \frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t}{\theta} \right)^{\beta}} \quad (2.18)$$

*Mean Time to Failure* dari distribusi Weibull adalah

$$MTTF = \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.19)$$

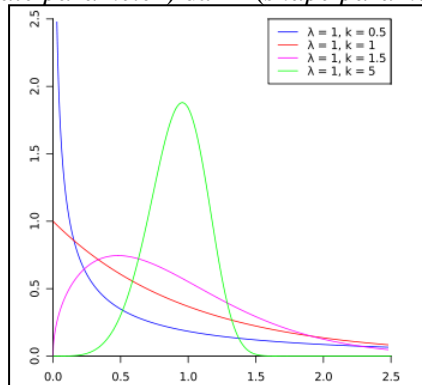
dengan *variance*  $\sigma^2 = \theta^2 \left\{ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) - \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]^2 \right\}$

dimana  $\Gamma(x)$  adalah fungsi gamma:  $\Gamma(x) = \int_0^x y^{x-1} e^{-y} dy$

dan fungsi keandalannya adalah

$$R(t) = e^{-\left( \frac{t}{\theta} \right)^{\beta}} \quad (2.20)$$

Berikut ini adalah beberapa bentuk distribusi Weibull dengan parameter  $\lambda$  (*scale parameter*) dan  $k$  (*shape parameter*)



**Gambar 2.2.** Distribusi Weibull ( $\lambda=1, k=0.5$ ;  $\lambda=1, k=1$ ;  $\lambda=1, k=1.5$ ;  $\lambda=1, k=5$ )

### 3. Distribusi Log Normal

*Time to failure* dari suatu komponen dikatakan memiliki distribusi lognormal bila  $y = \ln T$ , mengikuti distribusi normal dengan *probability density function* sebagai berikut (O'Connor, 2011)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp\left[-\frac{1}{s^2}\left(\ln \frac{t}{t_{med}}\right)^2\right] \text{ dan } t \geq 0 \quad (2.21)$$

*Mean Time to Failure* dari distribusi log normal adalah

$$MTTF = t_{med} \exp\left(\frac{s^2}{2}\right) \quad (2.22)$$

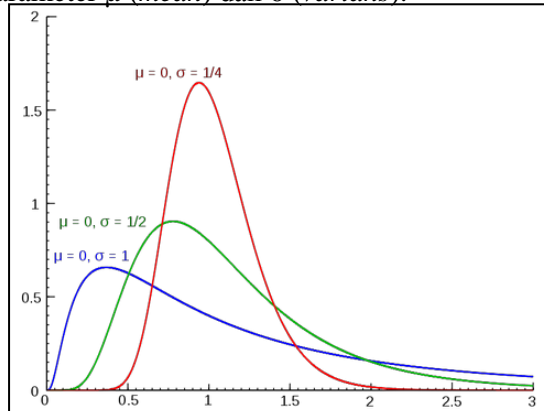
dengan *variance*  $\sigma^2 = t_{med}^2 \exp(s^2)[\exp(s^2) - 1]$

dan fungsi keandalannya adalah

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad (2.23)$$

Dimana parameter  $s$  adalah *standard deviasi*,  $t_{med}$  adalah *median time to failure* dan  $\sigma$  adalah *variance*.

Berikut ini adalah beberapa bentuk distribusi Log Normal dengan parameter  $\mu$  (*mean*) dan  $\sigma$  (*varians*).



**Gambar 2.3.** Distribusi Log Normal ( $\mu=0$ ;  $\sigma=0.25, 0.5, 1$ )

#### 4. Distribusi Johnson SB

Jika *time to failure* dari suatu komponen berdistribusi Johnson SB maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai berikut (Johnson, 1994)

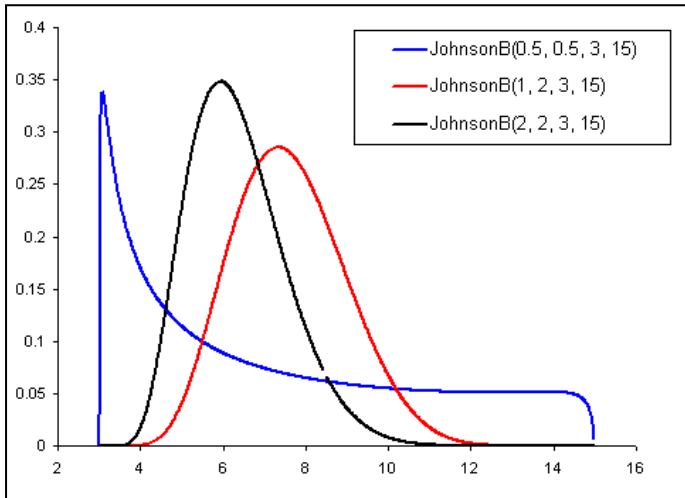
$$f(t) = \frac{\delta}{\lambda\sqrt{2\pi}z(1-z)} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)^2\right) \quad (2.24)$$

dimana  $z = \frac{t-\xi}{\lambda}$ , sedangkan fungsi keandalannya adalah

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right) \quad (2.25)$$

dimana  $z = \frac{t-\xi}{\lambda}$  dan  $\Phi$  adalah *Laplace Integral*.

Berikut ini adalah beberapa bentuk distribusi Johnson SB dengan parameter  $\gamma$  (*shape parameter*),  $\delta$  (*shape parameter*),  $\lambda$  (*scale parameter*) dan  $\xi$  (*location parameter*).



**Gambar 2.4.** Distribusi Johnson SB ( $\gamma=0.5, \delta=0.5, \xi=3, \lambda=15$ ;  $\gamma=1, \delta=2, \xi=3, \lambda=15$ ;  $\gamma=2, \delta=2, \xi=3, \lambda=15$ )

### 5. Distribusi *Generalized Pareto*

Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah berdistribusi Generalized Pareto maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai berikut (McNeil, 1999)

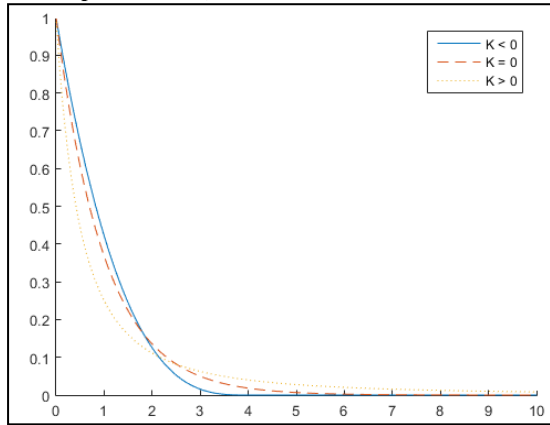
$$f(t) = \frac{1}{\sigma} \left( 1 + k \frac{(t - \mu)}{\sigma} \right)^{-1-1/k} \quad (2.26)$$

dimana  $k \neq 0$

sedangkan fungsi keandalannya adalah

$$R(t) = 1 - \left( 1 - \left( 1 + k \frac{(t - \mu)}{\sigma} \right)^{-1/k} \right) \quad (2.27)$$

Berikut ini adalah beberapa bentuk distribusi Generalized Pareto dengan parameter  $k$  (*shape parameter*),  $\sigma$  (*scale parameter*) dan  $\theta$  (*threshold parameter*).



**Gambar 2.5.** Distribusi Generalized Pareto ( $\sigma=1, \theta=0, k<0$ ;  $\sigma=1, \theta=0, k=0$ ;  $\sigma=1, \theta=0, k>0$ )

### 6. Distribusi *Generalized Error*

Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah berdistribusi Generalized Error maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai berikut (Vasudeva, 2013)

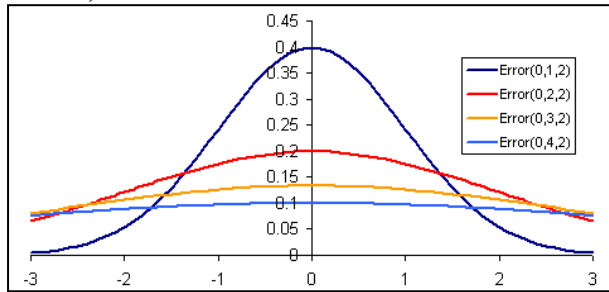


$$f(t) = \frac{k \left( \frac{\Gamma(3/k)}{\Gamma(1/k)} \right)^{1/2}}{2\Gamma(1/k)} \sigma^{-1} \exp \left( - \left( \frac{\Gamma(3/k)}{\Gamma(1/k)} \right)^{1/2} \frac{t-\mu}{\sigma} \right)^k \quad (2.28)$$

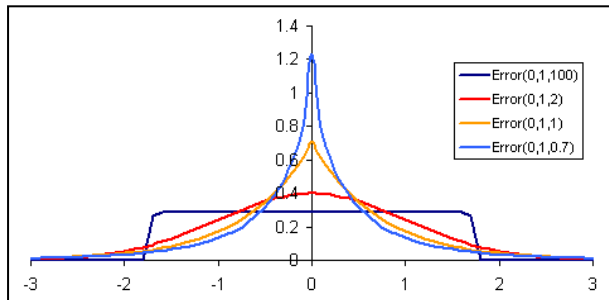
sedangkan fungsi keandaannya adalah

$$R(t) = 1 - \left( 0.5 \left( 1 + \frac{\Gamma \left( \frac{\Gamma(3/k)}{\Gamma(1/k)} \right)^{1/2} \frac{t-\mu}{\sigma} (1/k)}{\Gamma(1/k)} \right) \right) \quad (2.29)$$

Berikut ini adalah beberapa bentuk distribusi Generalized Error dengan parameter  $\mu$  (*mean*),  $\sigma$  (*standard deviasi*) dan  $n$  (*power indeks*).



**Gambar 2.6.** Distribusi Generalized Error ( $\mu=0, \sigma=1, n=2$ ;  $\mu=0, \sigma=2, n=2$ ;  $\mu=0, \sigma=3, n=2$ ;  $\mu=0, \sigma=4, n=2$ )



**Gambar 2.7.** Distribusi Error ( $\mu=0, \sigma=1, n=100$ ;  $\mu=0, \sigma=1, n=2$ ;  $\mu=0, \sigma=1, n=1$ ;  $\mu=0, \sigma=1, n=7$ )

## 2.6. Biaya Pemeliharaan dan Perbaikan

Terdapat dua macam pembiayaan pemeliharaan suatu mesin antara lain

### 1. Biaya pencegahan (*Preventive Cost*)

*Preventive Cost* merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang sudah dijadwalkan.

Biaya satu siklus preventif ( $C_p$ ) = (biaya kehilangan produksi/hari + biaya tenaga kerja/hari + biaya pemeliharaan rutin) x waktu standar pemeliharaan preventif + harga komponen (2.30)

### 2. Biaya kerusakan (*Failure cost*)

*Failure Cost* merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan diluar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi terhenti waktu produksi sedang berjalan.

Biaya satu siklus kerusakan ( $C_f$ ) = (biaya tenaga kerja/hari + biaya kehilangan produksi/hari) x waktu rata-rata perbaikan kerusakan + harga komponen (2.31)

Total biaya perawatan dan penggantian (*Total expected replacement*) = (biaya satu siklus preventif x peluang siklus preventif) + (biaya satu siklus kerusakan x peluang siklus kerusakan) (2.32)

Total biaya perawatan dan penggantian dapat juga dirumuskan seagai berikut

$$Total\ expected\ replacement = C_p \times R(t) + C_f \times [1 - R(t)]$$

Interval waktu pemeliharaan untuk menerapkan *Preventive Maintenance*, maka terlebih dahulu membuat jadwal pemeliharaan yang optimal untuk tiap mesin tersebut. Optimal disini berarti efektif dalam meminimalkan adanya kerusakan pada komponen tersebut dan efisien dalam mengeluarkan biaya pemeliharaan.

Total panjang siklus perawatan dan perbaikan = (ekspektasi satu siklus preventif x peluang siklus preventif) + (ekspektasi satu siklus kerusakan x peluang siklus kerusakan)

$$TxR(t) + \int_0^T t \cdot f(t) dt \quad (2.33)$$

Total biaya optimum pemeliharaan per satuan waktu suatu mesindigunakan rumus sebagai berikut :

$$C(tp) = \frac{CpxR(t) + Cf(1 - R(t))}{T \cdot R(t) + \int_0^T t \cdot f(t) dt} \quad (2.34)$$

Dimana:

$T$  = waktu selang pemeliharaanpreventif

$R(t)$  = probabilitas komponen andalselama waktu  $T$

$1-R(t)=F(t)$  = probabilitas komponen gagal selama waktu  $T$

$f(t)$  = fungsi kepadatan probabilitas dari waktu kegagalan komponen.

Dari perhitungan total biaya diatas, dipilih interval waktu pemeliharaan berdasarkan total biaya minimum.

## 2.7. Penaksiran Parameter

Penaksiran Parameter bertujuan untuk mendapatkan nilai taksiran atau niai perkiraan suatu variabel pada suatu persamaan tertentu. Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk menaksir parameter, salah satunya dengan menggunakan metode yang paling umum digunakan yaitu *Maximum Likelihood Estimation (MLE)* atau penaksiran parameter dengan cara memaksimumkan fungsi likelihood pada suatu persamaan. Fungsi likelihood dari  $L$  digambarkan sebagai berikut.

$$L(t_1, t_2, t_3, \dots, t_k; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) = f(t_1; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) \cdot x \quad (2.35)$$

$$f(t_2; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) \dots f(t_k; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)$$

Setelah didapatkan fungsi alogritma diatas, langkah selanjutnya adalah mengalikan kedua sisi dengan  $\ln$ .

$$\ln L(t_1, t_2, t_3, \dots, t_k; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) = \ln f(t_1; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) + \quad (2.36)$$

$$f(t_2; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) + \dots + \ln f(t_k; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)$$

Setelah didapatkan  $\ln$  Likelihoodnya langkah selanjutnya menurunkan fungsi likelihood diatas terhadap  $\alpha_i$

$$\frac{\partial L(t_1, t_2, t_3, \dots, t_k; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)}{\partial \alpha_i} = 0, \text{ dimana } i=1,2,3,\dots,n \quad (2.37)$$

(Dhilton B.S., 1985)

Untuk mengecek apakah fungsi tersebut telah maksimum maka diperlukan adanya turunan kedua dari fungsi tersebut. Apabila turunan kedua dari fungsi tersebut bernilai negatif maka fungsi telah maksimum (Myung, 2003).

$$\frac{\partial^2 L(t_1, t_2, t_3, \dots, t_k; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)}{\partial \alpha_i^2} < 0, \text{ dimana } i=1,2,3,\dots,n \quad (2.38)$$

Fungsi *Maximum Likelihood* untuk distribusi *Johnson Sb* yaitu

$$L(\gamma, \delta, \lambda, \xi, x) = \Pi f_{sb}(x_i | \gamma, \delta, \lambda, \xi) = \Pi f_{N(0,1)}(z_i | \gamma, \delta, \lambda, \xi) \frac{dz_i}{dx_i} \quad (2.39)$$

$$\text{dimana } \frac{dz_i}{dx_i} = \frac{\lambda \delta}{(x - \xi)(\xi + \lambda - x)} = \frac{\lambda / \delta'}{(x - \xi)(\xi + \lambda - x)}$$

sehingga fungsi negatif dari log-likelihood adalah

$$-LL = \frac{n}{2} \ln(2\pi) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n z_i^2 - \sum_{i=1}^n \ln \frac{dz_i}{dx_i} \quad (2.40)$$

Oleh karenanya, estimasi *Maximum Likelihood* dari *Johnson Sb* adalah minimalisasi dari (-LL) terhadap parameter vector  $\theta$ .

(Rennolls, 2005)

Fungsi *Maximum Likelihood* untuk distribusi *Generalized Pareto* yaitu

$$L(k, \alpha; X) = -n \ln \alpha + \left( \frac{1}{k} - 1 \right) \sum_{i=1}^n \ln \left( 1 - \frac{kX_i}{\alpha} \right), \quad k \neq 0$$

$$\text{dimana } \alpha > 0 \text{ untuk } k \leq 0 \text{ dan } \alpha > kX_{(n)} \text{ untuk } k > 0 \quad (2.41)$$

(Grimshaw, 2011)

## 2.8. Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan tenaga listrik yang memiliki fungsi sebagai penyalur tenaga atau daya listrik dari

tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. Dalam hal operasi penyalur tenaga listrik transformator bisa dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi dan diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (beroperasi terus menerus tanpa berhenti). Mengingat cara kerja transformator yang keras, maka perlu dilakukan pemeliharaan yang sebaik mungkin dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat.

Berdasarkan tegangan operasinya transformator dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut Interbus Transformator (IBT). Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut trafo distribusi. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi. Transformator dapat dibagi berdasarkan fungsinya antara lain Transformator Mesin, Transformator Gardu Induk dan Transformator Distribusi. Jika berdasarkan kapasitasnya transformator dapat dibagi menjadi Transformator Besar, Sedang dan Kecil.

### **2.8.1. Bagian-Bagian Transformator**

Transformator terdiri dari beberapa bagian utama antara lain sebagai berikut.

1. Inti Besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik melalui kumparan. Inti besi ini terbuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi yang berfungsi untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.



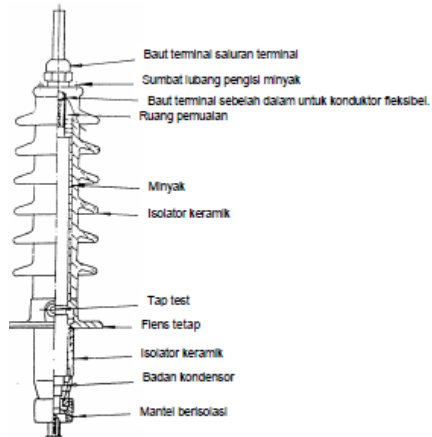
**Gambar 2.8.** Inti Besi dan Laminasi yang diikat *Fiber Glass*

2. Kumaran Transformator merupakan beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumaran. Kumaran ini terdiri dari kumaran primer dan kumaran sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupu terhadap antar kumaran dengan isolasi padat seperti karton dan pertinak. Kumaran ini sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



**Gambar 2.9.** Kumaran Fasa RST

3. Minyak Transformator sebagian besar kumaran-kumaran dan inti trafo direndam dalam minyak trafo, terutama trafo dengan tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo memiliki sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo ini berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.
4. Bushing, hubungan antara kumaran trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki trafo.



**Gambar 2.10.** Konstruksi Bushing Transformator

5. Tangki-Konservator, umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada(ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak trafo, tangkidilengkapi dengan konservator.



**Gambar 2.11.** Konservator Transformator

Selain memiliki bagian utama, transformator juga memiliki bagian yang tak kalah penting dengan halnya bagian utama diantaranya sebagai berikut.

a. Peralatan Bantu

1. Pendingin
2. *Tap Changer*
3. Alat pernapasan (*Dehydrating Breather*)
4. Indikator-indikator : *Thermometer*, permukaan minyak

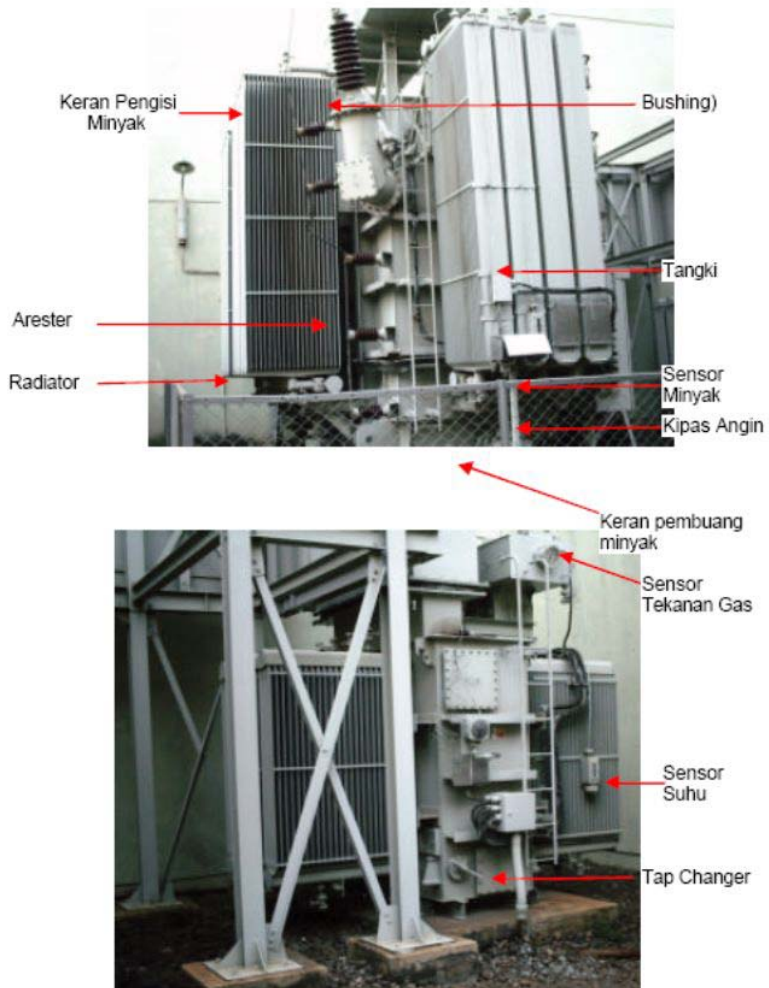
b. Peralatan Proteksi

1. Rele *bucholz*
2. Pengaman tekanan lebih (*Explosive Membrane*) / *Bursting Plate*
3. Rele tekanan lebih (*Sudden Pressure Relay*)
4. Rele pengaman tangki

c. Peralatan Tambahan untuk Pengaman Transformator

1. Pemadam kebakaran (transformator - transformator besar )
2. Rele *differensial* (*Differential Relay*)
3. Rele arus lebih (*Over current Relay*)
4. Rele hubung tanah (*Ground Fault Relay*)
5. Rele *thermis* (*Thermal Relay*)
6. *Arrester*





**Gambar 2.12.** Transformator Tipe Conventional Beradiator

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Sumber Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari data lama transformator bekerja dengan baik selama kurun waktu 2009 sampai 2014 yang diperoleh dari bagian *engineering*. Data tersebut berisi tentang waktu bekerja (*lifetime*) dan lamanya transformator diperbaiki dalam satuan waktu.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

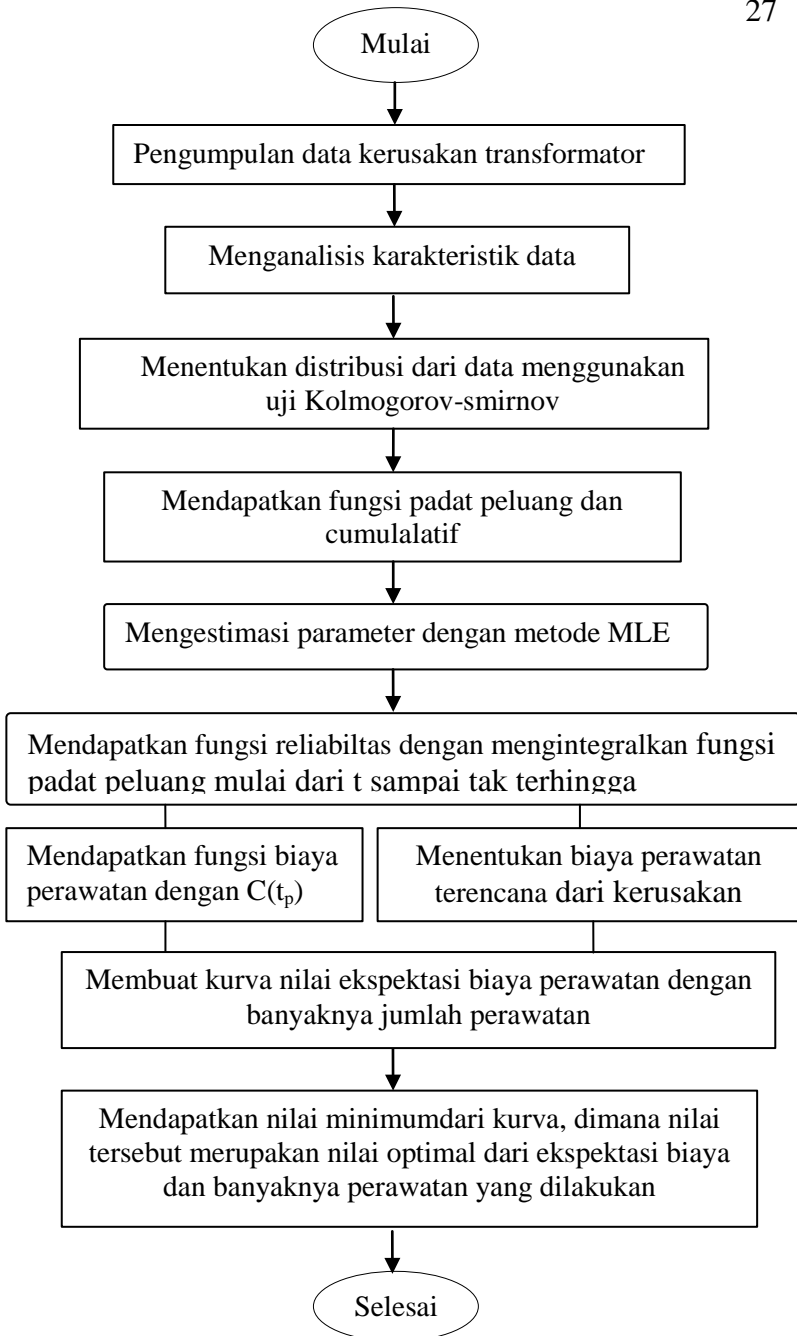
Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah lama transformator bekerja (*lifetime*) dan data perbaikan kerusakan dalam satuan hari yang diambil dari transformator yang berada di 36 gardu induk yang berada di dalam pengawasan PT.PLN (Persero) APP Surabaya.

#### **3.3 Langkah Analisis**

Langkah-langkah analisis yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian ini sebagai berikut.

1. Mendekripsikan data kerusakan transformator yang ada di PT.PLN (Persero) APP Surabaya
2. Mendapatkan jadwal perencanaan perawatan transformator yang ada di PT.PLN (Persero) APP Surabaya.
  - a. Menguji homogenitas data dengan uji Kruskal-Wallis
  - b. Pendugaan distribusi data
  - c. Menguji kesesuaian distribusi dengan metode Kolmogrov-Smirnov.
  - d. Menentukan distribusi kerusakan transformator
  - e. Mendapatkan fungsi padat peluang (*Probability Density Function*)
  - f. Mengestimasi parameter yang ada pada PDF dengan menggunakan metode MLE
  - g. Mensubstitusikan parameter-parameter ke PDF
  - h. Menentukan fungsi reliabilitas transformator

4. Mendapatkan besaran optimasi biaya perawatan transformator yang ada di PT.PLN (Persero) APP Surabaya.
  - a. Mendapatkan fungsi reliabilitas dari transformator
  - b. Menganalisis kemungkinan transformator mengalami kerusakan dan kemungkinan perlunya perawatan yang dilakukan secara terencana
  - c. Mendapatkan estimasi biaya yang mungkin dikeluarkan pada saat transformator mengalami perbaikan maupun pada saat perawatan terencana
  - d. Mendapatkan model yang berisi elemen (b) dan (c) dengan persamaan  $C(t_p)$
  - e. Membuat kurva antara  $C(t_p)$  dengan banyaknya perawatan yang dilakukan
  - f. Mendapatkan nilai minimum dari kurva, nilai tersebut merupakan nilai optimum antara biaya dan jumlah perawatan.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Langkah Analisis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

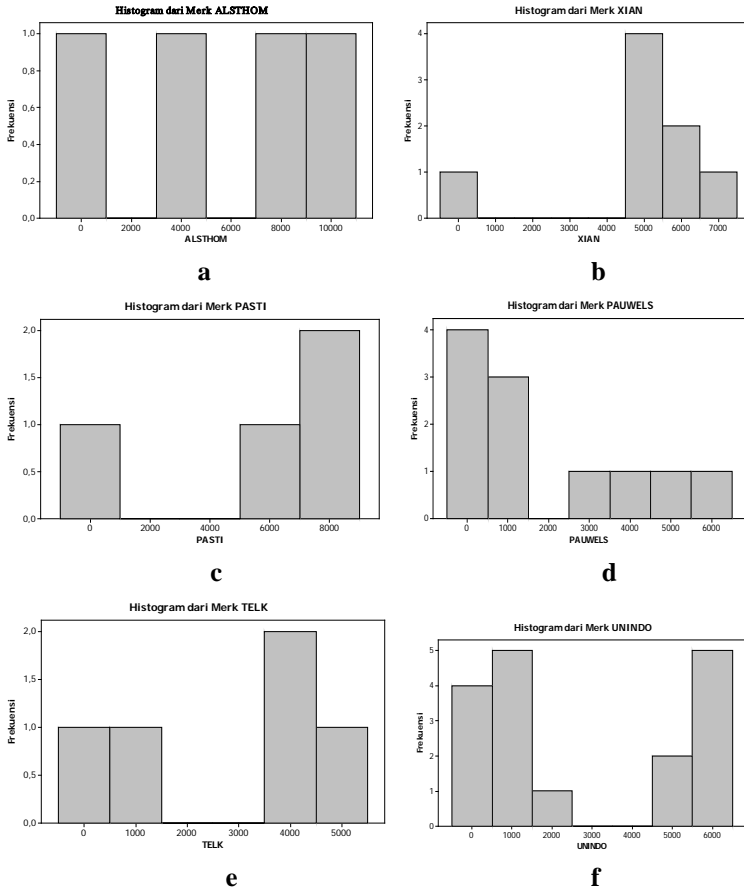
### 4.1 Statistika Deskriptif Data *Lifetime* dan Waktu Perbaikan Transformator

PT PLN (Persero) APP Surabaya memiliki 6 jenis merk transformator yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan dan pasokan energi listrik yang dibutuhkan oleh pelanggan. Berikut ini merupakan penjelasan statistika deskriptif *lifetime* dan waktu perbaikan dari masing-masing merk transformator.

**Tabel 4.1** Statistika Deskriptif *Lifetime* Transformator (Hari)  
Berdasarkan Merk Transformator

MerkTrafo	N	Mean	Median	Variance	Min	Max.	StDev
ALSTHOM	4	5.936	6.786	15.262.262	863	9.307	3.907
PASTI	4	5.382	6.936	12.965.082	6	7.648	3.601
PAUWELS	11	1.904	837	4.309.729	48	5.654	2.076
TELK	5	2.894	3.744	4.082.072	240	4.830	2.020
UNINDO	17	2.846	1.490	6.480.773	67	6.217	2.546
XIAN	8	4.792	5.054	3.880.547	229	6.539	1.970

Berdasarkan Tabel 4.1 diatas dapat diketahui bahwa rata-rata *lifetime* paling lama dari keenam merk transformator yang ada yaitu transformator dengan merk ALSTHOM sedangkan merk PAUWELS memiliki rata-rata *lifetime* yang paling pendek diantara merk transformator yang lainnya. Selain itu, transformator dengan merk ALSTHOM memiliki nilai variasi yang paling besar dibandingkan dengan transformator merk Xian. Nilai variasi yang besar ini menunjukkan bahwa merk ALSTHOM memiliki sebaran data yang besar atau dapat diartikan data *lifetime* transformator merk ALSTHOM heterogen. Selain dilihat dari nilai varian, sebaran data dari masing-masing merk transformator juga dapat dilihat dari bentuk histogramnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4.1** a,b,c,d,e,f Histogram *Lifetime* dari masing-masing Merk Transformator

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa masing-masing merk transformator memiliki sebaran data yang tidak mengikuti distribusi normal. Hal ini terlihat dari batang antara pengamatan tidak saling berhimpit dan tidak mengumpul di tengah. Transformator merk XIAN, ALSHTOM, PASTI, dan TELK memiliki bentuk histogram yang cenderung landai ke



kiri yang berarti mayoritas data *lifetime* lebih besar dari nilai rata-rata dan jarak antara setiap data besar sedangkan transformator merk PAUWELS didominasi data *lifetime* yang lebih kecil dari nilai rata-rata dikarenakan bentuk histogram yang condong landai ke kanan. Sementara itu dari bentuk histogram transformator merk UNINDO yang cekung ditengah dapat dikatakan bahwa sebaran data *lifetime* berada dibawah nilai rata-rata dan diatas nilai rata-rata.

**Tabel 4.2** Statistika Deskriptif Waktu Perbaikan Transformator (Hari)  
Berdasarkan Merk Transformator

Merk Trafo	N	Mean	Median	Variance	Min.	Max.
ALSTHOM	4	0,254	0,063	0,165	0,028	0,861
PASTI	4	0,065	0,049	0,004	0,008	0,156
PAUWELS	11	0,125	0,089	0,015	0,006	0,358
TELK	5	0,165	0,118	0,018	0,030	0,332
UNINDO	17	0,529	0,176	0,629	0,007	2,735
XIAN	8	0,116	0,104	0,008	0,029	0,302

Jika dilihat berdasarkan waktu perbaikan transformator seperti yang terlihat pada Tabel 4.2, diketahui bahwa rata-rata waktu perbaikan transformator yang paling lama adalah transformator dengan merk UNINDO, sedangkan merk PASTI merupakan merk transformator dengan waktu perbaikan paling pendek.

Selain dilihat dari nilai rata-rata, varian merupakan salah satu bagian yang sama pentingnya. Jika varian dari *lifetime* dan waktu perbaikan bernilai sangat besar maka akan susah untuk memprediksi tingkah laku dari transformator yang ada. Hal ini dapat dijadikan pertimbangan dan perhatian yang lebih bagi PT PLN (Persero) APP Surabaya dalam pemilihan transformator. Jika PT PLN (Persero) APP Surabaya menginginkan transformator dengan *lifetime* yang panjang dan dengan waktu perbaikan yang pendek, maka dapat memilih transformator dengan merk PASTI,

karena dengan waktu perbaikan yang pendek dan *lifetime* yang panjang PT PLN dapat mengurangi resiko kerugian baik bagi pelanggan maupun PT PLN sendiri. Namun agak susah untuk memprediksi tingkah laku transformator dengan merk ini karena nilai varian yang dihasilkan sangat besar.

#### 4.2 Pengujian Kruskal-Wallis

Data *lifetime* transformator yang ada merupakan data yang diperoleh dari keenam jenis merk. Namun tidak menutup kemungkinan distribusi dari *lifetime* keenam jenis merk tersebut memiliki kesamaan median. Dalam pengujian kesamaan median ini digunakan pengujian Kruskal-Wallis. Berikut merupakan hasil pengujian Kruskal-Wallis dari data *lifetime* transformator.

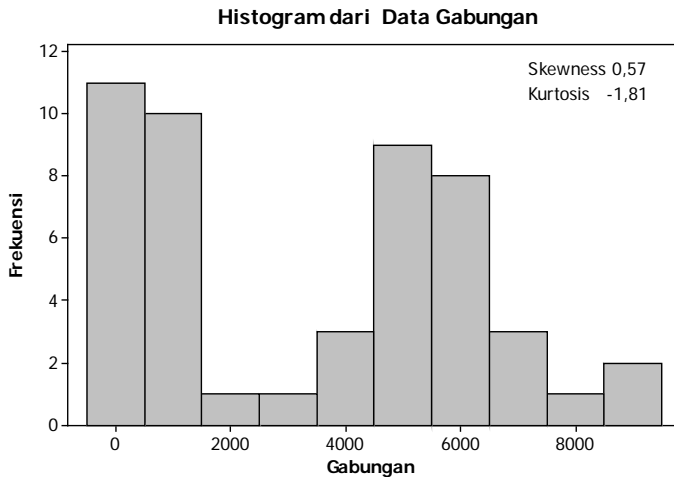
$H_0$ : Data *lifetime* dari keenam jenis merk transformator memiliki median yang sama.

$H_1$ : Data *lifetime* dari keenam jenis merk transformator memiliki median yang berbeda.

**Tabel 4.3** Statistik Uji Kruskal-Wallis Transformator

Statistik	Nilai
$H$	10,120
$Df$	5,000
$P\text{-value}$	0,072

Pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa nilai  $H$  kurang dari  $\chi^2_{\text{tabel}}$  (11,075) dan nilai  $P\text{-value}$  lebih besar dari alpha 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa data *lifetime* dari keenam jenis merk transformator memiliki kesamaan median, sehingga data *lifetime* dari keenam jenis merk ini dapat digabung menjadi satu kesatuan. Berikut ini akan ditampilkan histogram dari data *lifetime* yang telah digabung.



**Gambar 4.2.** Histogram Data *Lifetime* Semua MerkTransformator

Dari bentuk histogram pada Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa sebaran data *lifetime* gabungan dari semua merk transformator telah mengikuti kurva distribusi normal atau membentuk pola distribusi tertentu namun bentuk histogram yang cenderung landai ke kanan dapat diartikan sebagian besar data *lifetime* lebih kecil dari nilai rata-rata. Selain itu jarak antara data yang tidak renggang ini menunjukkan data *lifetime* gabungan dari semua merk transformator memiliki variansi yang kecil. Jika dilihat dari nilai skewnees dan kurtosisnya, sebaran data gabungan dari semua merk transformator mendekati simetris serta memiliki keruncingan yang platykurtik.

### 4.3 Penentuan Distribusi Data

Langkah awal untuk menentukan reliabilitas suatu komponen transformator adalah penentuan distribusi. Kolmogorov-Smirnov merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk pendugaan distribusi dari suatu data. Pada penelitian ini

menggunakan bantuan *software* reliabilitas untuk menentukan distribusi dari data *lifetime* transformator.

Pada pembahasan sebelumnya diketahui bahwa pada pengujian *kruskal-wallis* diperoleh kesimpulan keenam merk transformator memiliki median yang sama sehingga data *lifetime* dari keenam merk jenis transformator dapat digabungkan. Berikut ini ditampilkan tabel ranking distribusi yang sesuai dengan data *lifetime* semua merk transformator.

**Tabel 4.4** Ranking Distribusi Data *Lifetime* Transformator

Distribusi	Rangking
<i>Johnson SB</i>	1
<i>Generalized Pareto</i>	2
<i>Generalized Error</i>	3

Pada Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa distribusi *Johnson SB* menempati ranking pertama. Artinya distribusi *Johnson SB* merupakan distribusi yang sesuai untuk data *lifetime* transformator. Namun tidak menutup kemungkinan distribusi *Generalized Pareto* dan *Generalized Error* menjadi distribusi yang lebih sesuai dengan data *lifetime* transformator.

Berikut ini pengujian distribusi data dengan menggunakan metode *Kolmogorov-smirnov* untuk memperkuat dugaan distribusi yang sesuai dengan data *lifetime* transformator.

$H_0$ : Distribusi data sesuai dengan distribusi dugaan.

$H_1$ : Distribusi data tidak sesuai dengan distribusi dugaan.

Statistik Uji

$$\begin{aligned}
 D &= \sup |S(x) - F_0(x)| \\
 &= \sup \\
 &|0,020408 - 0,10746|, |0,040816 - 0,110311|, |0,061224 - 0,111618|, \dots, |1 - 0,983906| \\
 &= 0,117
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk uji *Kolmogorov-smirnov* untuk distribusi *Generalized Pareto* dan *Generalized Error*. Hasilnya seperti pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Pengujian Distribusi

Distribusi	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>
<i>Johnson SB</i>	0,117
<i>Generalized Pareto</i>	0,134
<i>Generalized Error</i>	0,150

Berdasarkan pada Tabel 4.5 diketahui nilai  $D$  dari distribusi *Johnson SB*, *Generalized Pareto* dan *Generalized Error* kurang dari nilai  $D_{\text{tabel}}$  (0,19), maka dapat diperoleh keputusan bahwa gagal tolak  $H_0$  yang berarti data bisa berdistribusi *Johnson SB*, *Generalized Pareto* maupun *Generalized Error* karena nilai  $D$  dari masing-masing distribusi tidak berbeda jauh.

#### 4.4 Pendugaan Parameter Distribusi Data

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menduga parameter dari suatu distribusi salah satunya menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* atau dengan kata lain mengestimasi fungsi likelihood terbesar. Fungsi likelihood secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut

$$L(t_1, t_2, t_3, \dots, t_k; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) = f(t_1; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) \times$$

$$f(t_2; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n) \dots f(t_k; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n)$$

Misalkan untuk Fungsi likelihood distribusi *Johnson SB* adalah

$$L(\gamma, \delta, \lambda, \xi, x) = \Pi f_{sb}(x_i | \gamma, \delta, \lambda, \xi) = \Pi f_{N(0,1)}(z_i | \gamma, \delta, \lambda, \xi) \frac{dz_i}{dx_i}$$

dimana  $\frac{dz_i}{dx_i} = \frac{\lambda \delta}{(x - \xi)(\xi + \lambda - x)} = \frac{\lambda / \delta'}{(x - \xi)(\xi + \lambda - x)}$  sehingga fungsi negatif dari log-likelihood

$$-LL = \frac{n}{2} \ln(2\pi) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n z_i^2 - \sum_{i=1}^n \ln \frac{dz_i}{dx_i}$$

$$-LL = \frac{n}{2} \ln(2\pi) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n z_i^2 - \sum_{i=1}^n \ln \frac{\lambda / \delta'}{(x - \xi)(\xi + \lambda - x)}$$

Dengan menggunakan bantuan *software* didapatkan parameter dari masing-masing distribusi untuk transformator sebagai berikut.

**Tabel 4.6** Parameter Distribusi Transformator

Distribusi	Parameter	Nilai
<i>Johnson SB</i>	$\gamma$	0,25444
	$\delta$	0,5404
	$\lambda$	9048,1
	$\xi$	-577,03
<i>Generalized Pareto</i>	$k$	-0,64433
	$\sigma$	6646,5
	$\mu$	-765,92
<i>Generalized Error</i>	$k$	100,0
	$\sigma$	2697,9
	$\mu$	3276,2

Parameter  $\gamma$ ,  $\delta$  dan  $k$  merupakan *shape* parameter sedangkan  $\lambda$  dan  $\sigma$  merupakan *scale* parameter, dimana nilai untuk  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$  dan  $\sigma$  memiliki nilai lebih dari nol atau bilangan positif kecuali nilai  $k$  untuk distribusi *Generalized Pareto* bernilai negatif. Sementara parameter  $\xi$  dan  $\mu$  merupakan *location* parameter, dimana nilai parameter ini bernilai negatif. Dalam penelitian ini, nilai *location* parameter yang negatif, diganti menjadi 0, dikarenakan tidak mungkin jika *lifetime* dari transformator itu bernilai negatif.

#### 4.5 Elemen Reliabilitas Data *Lifetime* Transformator

Setelah sebelumnya didapatkan distribusi yang sesuai untuk data *lifetime* maka langkah selanjutnya yaitu mensubstitusikan nilai masing-masing parameter yang telah didapat kedalam fungsi padat peluang dari distribusi yang sudah diketahui. Hal ini berfungsi untuk membantu menentukan reliabilitas pada transformator.

Jika data *lifetime* transformator berdistribusi Johnson SB dengan parameter gamma ( $\gamma$ ), delta ( $\delta$ ), lambda ( $\lambda$ ) dan xi ( $\xi$ ). Berikut adalah fungsi padat peluang dari distribusi *Johnson SB*.

$$f(t) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(\gamma + \lambda - t)(t - \gamma)} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[ \gamma + \delta \ln\left(\frac{t - \xi}{\xi + \lambda - t}\right) \right]^2\right)$$

dan fungsi cummulative dari distribusi *Johnson SB*

$$F(t) = \Phi\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{t - \xi}{\xi + \lambda - t}\right)\right)$$

Dengan mensubstitusikan nilai parameter yang didapatkan sebelumnya maka fungsi padat peluangnya dan fungsi cummulative sebagai berikut.

$$f(t) = \frac{0,404}{\sqrt{2\pi}} \frac{9048,1}{(9048,35 - t)(t - 0,254)} \exp\left(-\frac{1}{2} \left( 0,254 + 0,5405 \ln\left(\frac{t + 577,03}{8471,7 - t}\right) \right)^2\right)$$

$$F(t) = \Phi\left(0,254 + 0,5405 \ln\left(\frac{t + 577,03}{8471,7 - t}\right)\right)$$

Jika data *lifetime* transformator berdistribusi *Generalized Pareto* atau *Generalized Error* distribusi dengan parameter  $k$ ,  $\sigma$  dan  $\mu$ . Berikut adalah fungsi padat peluang dari distribusi *Generalized Pareto* dan *Generalized Error*.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} \left(1 + k \frac{(t - \mu)}{\sigma}\right)^{-1-1/k}$$

dan fungsi cummulative dari distribusi *Generalized Pareto*

$$F(t) = 1 - \left(1 + k \frac{(t - \mu)}{\sigma}\right)^{-1/k}$$

Dengan mensubtitusikan nilai parameter yang didapatkan sebelumnya maka fungsi padat peluangnya dan fungsi cummulatifnya sebagai berikut.

$$f(t) = \frac{1}{6646,5} \left( 1 + (-0,64433) \frac{(t - (-765,92))}{6646,5} \right)^{-1-1/(-0,64433)}$$

$$F(t) = 1 - \left( 1 + (-0,64433) \frac{(t - (-765,2))}{6646,5} \right)^{-1/(-0,6443)}$$

Untuk fungsi padat peluang dari distribusi *Generalized Error* sebagai berikut

$$f(t) = \frac{k \left( \frac{\Gamma(3/k)}{\Gamma(1/k)} \right)^{1/2}}{2\Gamma(1/k)} \sigma^{-1} \exp \left( - \left| \left( \frac{\Gamma(3/k)}{\Gamma(1/k)} \right)^{1/2} \frac{t - \mu}{\sigma} \right|^k \right)$$

dan fungsi cummulatif dari distribusi *Generalized Error*

$$F(t) = 0,5 \left( 1 + \frac{\Gamma \left( \left( \frac{\Gamma(3/k)}{\Gamma(1/k)} \right)^{1/2} \frac{t - \mu}{\sigma} \right)^k}{\Gamma(1/k)} \right)$$

Dengan mensubtitusikan nilai parameter yang didapatkan sebelumnya maka fungsi padat peluangnya dan fungsi cummulatifnya sebagai berikut.

$$f(t) = \frac{100 \left( \frac{\Gamma(3/100)}{\Gamma(1/100)} \right)^{1/2}}{2\Gamma(1/100)} 2697,9^{-1} \exp \left( - \left| \left( \frac{\Gamma(3/100)}{\Gamma(1/100)} \right)^{1/2} \frac{t - 3276,2}{2697,9} \right|^{100} \right)$$



$$F(t) = 0,5 \left( 1 + \frac{\Gamma \left( \left( \frac{\Gamma(3/100)}{\Gamma(1/100)} \right)^{1/2} \frac{t - 3276,2}{\sigma} \right)^{100}}{\Gamma(1/100)} \right) (1/100)$$

Sebelum mendapatkan fungsi reliabilitas dari masing-masing distribusi maka terlebih dahulu untuk mengetahui MTTF dari data *lifetime* transformator yang didekati dengan nilai median dari data *lifetime* transformator sebesar 3744 hari. Hal ini dapat diartikan bahwa rata-rata transformator akan mengalami kerusakan setelah transformator beroperasi selama 3744 hari atau selama 10 tahun.

Selanjutnya didapatkan fungsi reliabilitas dari masing-masing distribusi. Untuk fungsi reliabilitas dari distribusi *Johnson SB* setelah mensubstitusikan nilai parameter yang didapat adalah

$$R(t) = 1 - \left( \Phi \left( 0,254 + 0,5405 \ln \left( \frac{t + 577,03}{8471,7 - t} \right) \right) \right)$$

Fungsi reliabilitas dari distribusi *Generalized Pareto* dengan sebelumnya memasukkan nilai parameter yang didapat adalah

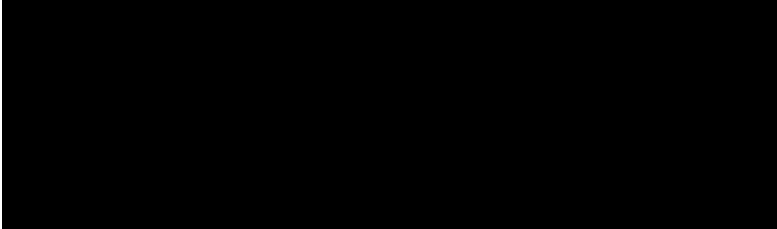
$$R(t) = 1 - \left( 1 - \left( 1 + (-0,64433) \frac{(t - (-765,2))^{-1/(-0,6443)}}{6646,5} \right) \right)$$

Sedangkan fungsi reliabilitas dari distribusi *Generalized Error* adalah

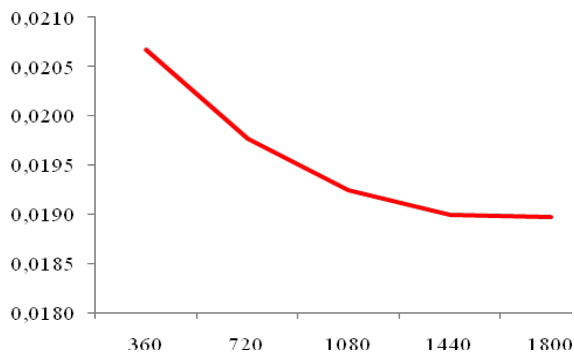
$$R(t) = 1 - \left( 0,5 \left( 1 + \frac{\Gamma \left( \left( \frac{\Gamma(3/100)}{\Gamma(1/100)} \right)^{1/2} \frac{t - 3276,2}{\sigma} \right)^{100}}{\Gamma(1/100)} \right) \right)$$

Dengan mengetahui fungsi padat probabilitas dan fungsi reliabilitas dari masing-masing distribusi, maka dapat diketahui laju kerusakan transformator berdasarkan masing-masing distribusi dengan cara mensubstitusikan pdf dan reliability kedalam persamaan laju kerusakan. Berikut ini nilai dari laju kerusakan untuk 5 tahun pemakaian transformator.

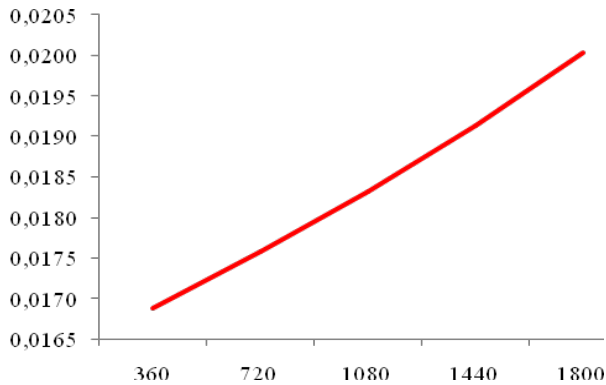
**Tabel 4.7** Laju Kerusakan Transformator



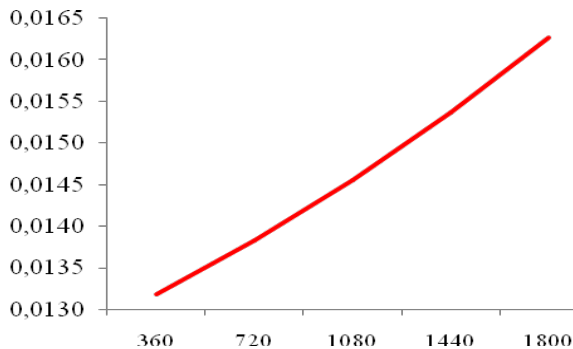
Dari Tabel 4.7 diatas dapat dilihat bahwa nilai laju kerusakan untuk distribusi *Johnson Sb* dari tahun ke tahun mengalami penurunan. Hal ini menandakan nilai reliabilitasnya meningkat. Namun berbeda dengan laju kerusakan untuk distribusi *Generalized pareto* dan *Generalized Error*, nilai laju kerusakan dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan. Hal ini menandakan bahwa nilai reliabilitasnya semakin menurun. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**a. Distribusi *Johnson Sb***



**b. Distribusi *Generalized Pareto***



**c. Distribusi *Generalized Error***

**Gambar 4.3 a,b,c Laju Kerusakan masing-masing Distribusi**

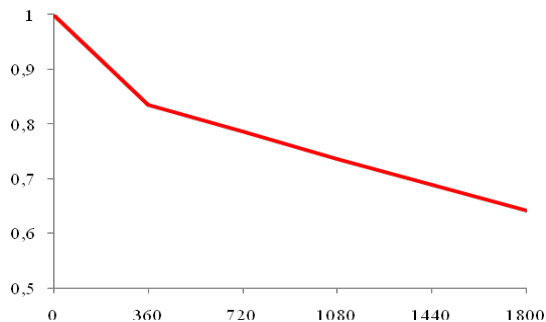
Dari ketiga grafik laju kerusakan diatas, dapat dikatakan meskipun distribusi *Johnson Sb* menempati ranking distribusi yang pertama, namun laju kerusakan dari distribusi ini semakin turun. Hal ini tidak masuk akal sehingga pada penelitian ini menggunakan distribusi *Generalized Pareto* dengan ranking kedua untuk melanjutkan pada perhitungan selanjutnya.

Selain dengan melihat laju kerusakan, keandalan dari transformator dapat diketahui dengan melihat nilai reliabilitas dari transformator berdasarkan distribusi *Generalized Pareto*. Berikut nilai reliabilitas transformator untuk 5 tahun kedepan.

**Tabel 4.8** Reliabilitas Transformator

Disrtibusi		Waktu (t)				
		360	720	1080	1440	1800
<i>Johnson Sb</i>	Reliabilitas	0.92873	0.85744	0.79555	0.74064	0.69094
	Persentase (%)	92.873	85.744	79.555	74.064	69.094
<i>Generalized Pareto</i>	Reliabilitas	0.94636	0.89378	0.84228	0.791877	0.7425871
	Persentase (%)	94.636	89.378	84.228	79.1877	74.258712
<i>Generalized Error</i>	Reliabilitas	0.8121	0.77357	0.73505	0.69652	0.65799
	Persentase (%)	81.21	77.357	73.505	69.652	65.799

Dari Tabel 4.8 diatas dapat dilihat bahwa nilai reliabilitas dari tahun pertama sampai tahun kelima mengalami penurunan sekitar 5% setiap tahunnya. Untuk lebih mengetahui lebih jelas penurunan nialia reliabilitas transformator dari distribusi *Generalized Pareto* dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.



**Gambar 4.4** Plot Reliabilitas Distribusi *Generalized Pareto*

Dari Gambar 4.4 terlihat jelas terjadi penurunan nilai reliabilitas dari tahun pertama hingga tahun kelima. Hal ini menunjukkan bahwa keandalan dari transformator semakin menurun, sehingga diperlukan tindakan *maintenance* yang terjadwal dan kontinyu.

#### 4.6 Perhitungan Perbaikan Kerusakan dan Perbaikan *Preventive*

Dalam suatu perencanaan *maintenance* salah satu yang perlu harus diperhatikan adalah biaya yang ditimbulkan dari *maintenance* tersebut. Pada pembahasan ini bertujuan untuk mengetahui waktu *maintenance* yang tepat sehingga dapat meminimumkan biaya dan kerugian yang diakibatkan adanya kerusakan. Sebelum menentukan waktu *preventive* dan estimasi biaya,  $C_f$  (*Cost of Failure*) dan  $C_p$  (*Cost of Preventive*) harus diketahui terlebih dahulu.

PT. PLN (Persero) APP Surabaya memiliki standar biaya untuk melakukan perawatan dan perbaikan terhadap transformator yang ada. Perawatan transformator dilakukan biasanya setiap 2 tahun sekali dengan biaya sekali perawatan transformator (*Cost of Preventive*) sebesar Rp.7.000.000,-, jika perawatan transformator dilakukan setiap bulan maka

$$C_p = \frac{7.000.000}{4} = \text{Rp.}1.750.000,-.$$

Jika perawatan transformator dilakukan setiap 1 tahun maka

$$C_p = \frac{7.000.000}{2} = \text{Rp.}3.500.000,-.$$

sedangkan biaya penggantian transformator jika mengalami kerusakan (*Cost of Failure*) sebesar Rp. 31.000.000,-.

Setelah diketahui nilai  $C_f$  dan  $C_p$ , langkah selanjutnya adalah mensubstitusikan nilai  $C_f$  dan  $C_p$  kedalam persamaan  $C(tp)$  dengan  $R(tp)$  dan  $M(tp)$  merupakan fungsi dari masing-masing distribusi. Berikut ini hasil substitusi dari pada persamaan  $C(tp)$  dari distribusi *Generalized Pareto* adalah

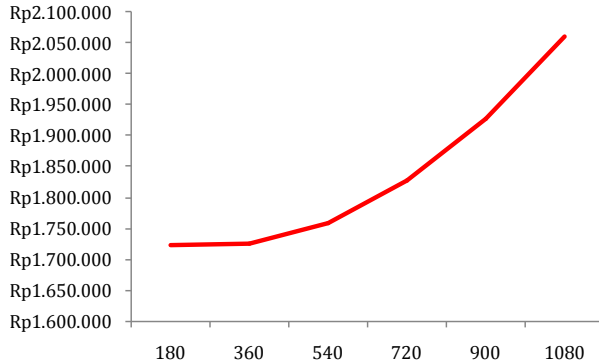
$$C(t_p) = \frac{1.750.000xR(t_p) + 31.000.000x(1 - R(t_p))}{t_p x R(t_p) + \int_0^{t_p} f(t)dt}$$

$$C(t_p) = \frac{3.500.000xR(t_p) + 31.000.000x(1 - R(t_p))}{t_p x R(t_p) + \int_0^{t_p} f(t)dt}$$

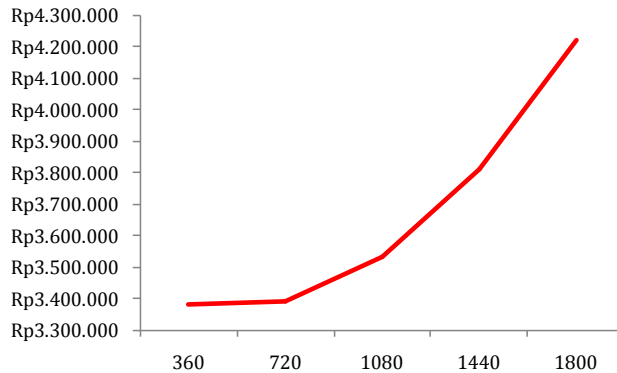
Dengan  $\int_0^{t_p} t.f(t)dt$  sebagai berikut.

$$\int_0^{t_p} t.f(t)dt = \int_0^{t_p} t \left( \frac{1}{\sigma} \left( 1 + k \frac{(t-\mu)}{\sigma} \right)^{-1-1/k} \right) dt$$

Untuk mendapatkan nilai  $C(tp)$  ini dilakukan dengan *trial-error* nilai  $t_p$  sampai didapatkan nilai  $C(tp)$  yang minimum. Berikut ini plot antara nilai  $t_p$  dan nilai  $C(tp)$ .



a. Plot  $t_p$  dan  $C(tp)$  dengan durasi 6 bulanan

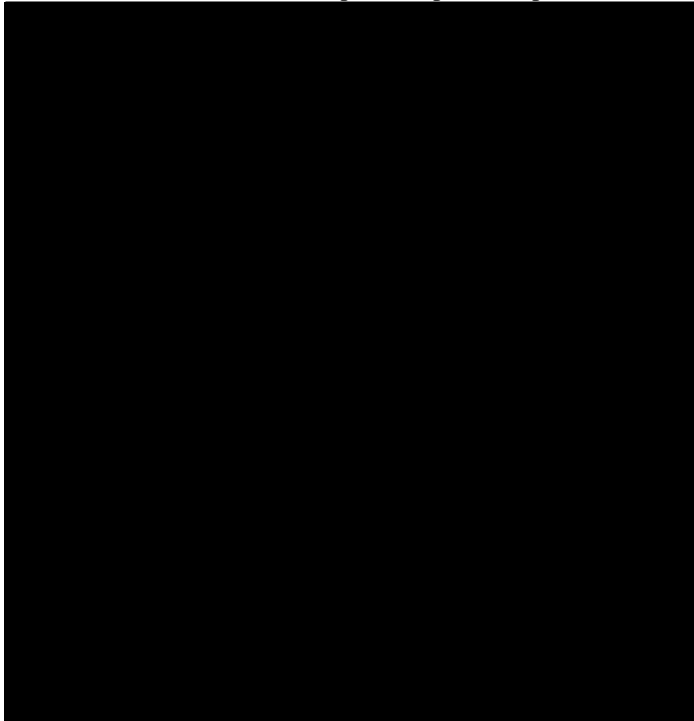


b. Plot  $t_p$  dan  $C(t_p)$  dengan durasi 1 tahunan

**Gambar 4.5 a,b Plot  $t_p$  dan  $C(t_p)$  dari Distribusi *Generalized Pareto***

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa saat  $t_p$  bernilai 270 hari atau 9 bulan menjadi titik balik dari plot diatas. Hal ini dapat diartikan sebagai waktu *preventive* yang dapat meminimumkan biaya yaitu setelah transformator beroperasi selama 270 hari atau 9 bulan dengan estimasi biaya minimum yang harus di keluarkan sebesar Rp. 1.720.319,-. Untuk perawatan transformator dilakukan setiap tahun maka waktu *preventive* yang dapat meminimumkan biaya yaitu setelah transformator beroperasi selama 540 hari atau 1 tahun 6 bulan dengan estimasi biaya minimum yang harus di keluarkan sebesar Rp. 3.369.809,-.

Dengan cara yang sama dapat juga diketahui nilai  $t_p$  yang dapat mengoptimumkan nilai  $C(t_p)$  dari distribusi *Johnson SB* dan *Generalized Pareto*. Berikut merupakan hasil perhitungan  $C(t_p)$  dari distribusi *Johnson SB* dan *Generalized Pareto*.

**Tabel 4.9** Nilai Optimasi  $t_p$  dan  $C(t_p)$ 


Berdasarkan Tabel 4.9 dapat diketahui saat  $t_p$  bernilai 1080 hari menjadi titik balik dari plot distribusi *Johnson SB*. Hal ini dapat diartikan sebagai waktu *preventive* yang dapat me-minimumkan biaya yaitu setelah transformator beroperasi selama 1080 hari dengan estimasi biaya minimum yang harus di keluarkan sebesar Rp. 1.516.116,-. Untuk perawatan trans-formator dilakukan setiap tahun maka waktu *preventive* yang dapat meminimumkan biaya yaitu setelah transformator ber-operasi selama 1440 hari dengan estimasi biaya minimum yang harus di keluarkan sebesar Rp. 2.865.280,-, sedangkan untuk nilai  $t_p$  yang dapat meminimumkan  $C(t_p)$  dari distribusi *Generalized Error* yaitu setelah transformator beroperasi selama 720 hari dengan estimasi biaya yang



dikeluarkan sebesar Rp. 1.419.980,- dengan durasi 6 bulanan, sedangkan durasi 1 tahunan, nilai tp yang optimum yaitu setelah transformator beroperasi selama 1080 hari dengan estimasi biaya sebesar Rp. 2.732.784,-

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Karakteristik dari transformator yang ada di PT. PLN (Persero) APP Surabaya menunjukkan bahwa transformator dengan merk ALSTHOM merupakan transformator dengan rata-rata *lifetime* paling lama dengan nilai variasi sebesar 15.262.262, sedangkan transformator dengan merk PASTI merupakan transformator dengan rata-rata waktu perbaikan paling kecil dengan nilai variasi sebesar 0,004. Nilai variansi yang besar ini menunjukkan data memiliki sebaran data yang heterogen sehingga agak susah nantinya untuk memprediksi perilaku dari transformator.
2. Jadwal perencanaan perawatan transformator yang sesuai dengan distribusi *Generalized Pareto* adalah jika transformator telah beroperasi selama 270 hari atau 9 bulan untuk jadwal perawatan transformator dengan durasi 6 bulanan, sedangkan jadwal perawatan transformator dengan durasi tahunan dapat dilakukan setelah transformator beroperasi selama 540 hari atau selama 1 tahun 6 bulan.
3. Besaran optimasi yang sesuai dengan jadwal perawatan transformator dengan durasi bulanan diestimasi sebesar Rp. 1.720.319, sedangkan jadwal perawatan transformator dengan durasi tahunan membutuhkan estimasi biaya yang optimum sebesar Rp. 3.369.809,-.

## 5.2 Saran

Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya serta untuk kebijakan penjadwalan perawatan transformator di PT. PLN (Persero) APP Surabaya.

1. Penelitian ini terbatas pada transformator 150/20 KV. Selain itu untuk biaya penggantian tranformator yang digunakan berdasarkan tahun 2014 serta tidak mempertimbangkan kapasitas dari transformator, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan metode yang lain dan dengan mempertimbangkan kapasitas dari dan biaya penggantian yang *update* sehingga dapat memberikan alternatif dalam menentukan waktu *preventive* yang nantinya dapat meminimumkan biaya.
2. Dalam upaya mencapai perhitungan yang tepat dan sesuai dengan standar dari PT. PLN (Persero) APP Surabaya, sebaiknya pencatatan data terkait transformator dapat dilakukan secara kontinyu dikarenakan dengan pencatatan ini dapat diketahui historis dari transformator sehingga dapat lebih mudah nantinya dilakukan upaya perbaikan jika transformator mengalami kerusakan ataupun kegagalan.
3. Untuk mendapatkan jadwal perencanaan yang lebih mengoptimumkan biaya, maka sebaiknya pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode yang mempertimbangkan bahwa kinerja suatu komponen atau sistem yang telah diperbaiki memiliki kinerja yang sudah tidak sama dengan kinerja suatu komponen atau sistem yang baru.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, G. K. dan Johnson, R. A. (1997). *Statistical Concepts and Method*. New York: Wiley.
- Dajan, Anto. (1991). *Pengantar Metode Statistik Jilid II*. Jakarta: LP3ES.
- Daniel, W. W. (1989). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Jakarta: PT Gramedia.
- Dillon, B. S.(1985). *Quality Control, Reliability and Engineering Design*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Ebeling, C. E. (2010). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering Second Edition*. Canada: Waveland Press, Inc.
- Gasperz, Vincent. (2002). *Total Quality Management*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Grimshaw, Scott. (1993). *Computing Maximum Likelihood Estimated for the Generalized Pareto Distribution*. New York: American Statistical Association
- Haryono. (2010). *Penjadwalan dan Optimasi Biaya Perawatan Insulasi Minyak Transformator Distribusi di PT.PLN (Persero) UP&J Surabaya Utara dengan Menggunakan Metode Pemodelan Markov*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Huda, S. H. M. (2013). *Optimasi Preventive Maintenance pada Mesin Tuber dan Bottomer dengan Metode Analisis Reliabilitas di PT X*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Johnson, N.L., Kotz,S., dan Balakrishnan, N. (1994). *Continuous Univariate Distributions (Volume 1) Second Edition*. New York: John Wiley.
- McNeil, A. (1999). *Extreme Value Theory for Risk Managers*. London: Internal Modelling and CAD II.
- O'Connor, A. N. (2011). *Probability Distribution Used in Reliability Engineering*. Maryland: Reliability

- Information Analysis Center (RIAC).
- Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*. (2003). PT PLN (Persero) P3B
- Prabowo, A. A. (2011). *Analisa Keandalan Transformator Gardu Induk Wilayah Surabaya Menggunakan Metode Monte Carlo*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rennolls, K. dan Wang, M. (2004). *A New Parameterization of Johnson's Sb Distribution with Application to Fitting Forest Tree Diameter Data*. London: University of Greenwich.
- Wahyudi, Didik. (2011). *Analisa Perawatan Unit Pembangkitan Gresik Unit III Dengan Metode Reliability Centered Maintenance*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A Data Penelitian

<b>Lifetime (Hari)</b>	<b>Waktu Perbaikan (Hari)</b>	<b>Lifetime (Hari)</b>	<b>Waktu Perbaikan (Hari)</b>
4830	0.332	5851	0.065
4917	0.111	9307	0.097
1835	0.512	1277	0.060
4924	0.089	6385	0.097
4620	0.032	5588	0.065
240	0.285	5654	0.053
5125	0.165	1173	0.606
312	1.374	7648	0.008
3582	0.008	118	0.113
8689	0.029	67	0.198
229	0.029	3251	0.012
6162	0.088	5385	0.007
4883	0.028	48	0.006
6217	0.101	4377	0.118
6815	0.036	672	0.176
6	0.156	280	0.358
6539	0.122	4982	0.302
1489	0.131	4956	2.735
5930	0.231	144	0.287
647	0.233	5541	0.067
80	0.066	3744	0.030
7057	0.061	1490	0.540
863	0.861	837	0.163
1461	0.053	862	2.087
		313	0.008

## LAMPIRAN B

### Statistika Deskriptif data *lifetime* dan Waktu Perbaikan Transformator

Variable	Total Count	Mean	StDev	Variance	Minimum	Median	Maximum
XIAN	8	4792	1970	3880547	229	5054	6539
UNINDO	17	2846	2546	6480773	67	1490	6217
PAUWELS	11	1904	2076	4309729	48	837	5654
ALSTHOM	4	5936	3907	15262262	863	6786	9307
PASTI	4	5382	3601	12965082	6	6936	7648
TELK	5	2894	2020	4082072	240	3744	4830

Variable	Count	Mean	StDev	Variance	Minimum	Median	Maximum
XIAN	8	0,1156	0,0881	0,0078	0,0292	0,1042	0,3021
UNINDO	17	0,529	0,793	0,629	0,007	0,176	2,735
PAUWELS	11	0,1250	0,1208	0,0146	0,0063	0,0889	0,3576
ALSTHOM	4	0,254	0,406	0,165	0,028	0,063	0,861
PASTI	4	0,0653	0,0645	0,0042	0,0076	0,0486	0,1563
TELK	5	0,1650	0,1359	0,0185	0,0299	0,1181	0,3319

## LAMPIRAN C

### Uji Kruskal-Wallis Transformator

#### Kruskal-Wallis Test: Lifetime versus Merk

Kruskal-Wallis Test on lifetime

Merk	N	Median	Ave Rank	Z
1	5	3744,0	21,0	-0,66
2	8	5053,5	31,8	1,46
3	17	1490,0	23,6	-0,48
4	11	837,0	16,6	-2,20
5	4	6786,0	35,5	1,53
6	4	6936,0	34,8	1,42
Overall	49		25,0	

H = 10,12 DF = 5 P = 0,072



**LAMPIRAN D**  
**Distribusi Data Lifetime Transformator**

#	<u>Distribution</u>	<u>Kolmogorov Smirnov</u>	
		Statistic	Rank
1	<u>Beta</u>	0,16925	9
2	<u>Burr</u>	0,19204	18
3	<u>Burr (4P)</u>	0,36046	51
4	<u>Cauchy</u>	0,20727	31
5	<u>Chi-Squared</u>	0,50897	58
6	<u>Chi-Squared (2P)</u>	0,73195	59
7	<u>Dagum</u>	0,15385	5
8	<u>Dagum (4P)</u>	0,43891	56
9	<u>Erlang</u>	0,3151	49
10	<u>Erlang (3P)</u>	0,19242	21
11	<u>Error</u>	0,15001	3
12	<u>Error Function</u>	0,50089	57
13	<u>Exponential</u>	0,19227	20
14	<u>Exponential (2P)</u>	0,19245	22
15	<u>Fatigue Life</u>	0,29708	46
16	<u>Fatigue Life (3P)</u>	0,22873	38
17	<u>Frechet</u>	0,22217	35
18	<u>Frechet (3P)</u>	0,17937	11
19	<u>Gamma</u>	0,19832	25
20	<u>Gamma (3P)</u>	0,19568	24
21	<u>Gen. Extreme Value</u>	0,18056	12

22	<a href="#">Gen. Gamma</a>	0,21037	32
23	<a href="#">Gen. Gamma (4P)</a>	0,15576	7
24	<a href="#">Gen. Pareto</a>	0,13635	2
25	<a href="#">Gumbel Max</a>	0,18539	14
26	<a href="#">Gumbel Min</a>	0,24103	41
27	<a href="#">Hypersecant</a>	0,23825	39
28	<a href="#">Inv. Gaussian</a>	0,27807	44
29	<a href="#">Inv. Gaussian (3P)</a>	0,31004	48
30	<a href="#">Johnson SB</a>	0,11668	1
31	<a href="#">Kumaraswamy</a>	0,26628	43
32	<a href="#">Laplace</a>	0,25851	42
33	<a href="#">Levy</a>	0,36809	53
34	<a href="#">Levy (2P)</a>	0,23857	40
35	<a href="#">Log-Gamma</a>	0,22209	34
36	<a href="#">Log-Logistic</a>	0,20101	27
37	<a href="#">Log-Logistic (3P)</a>	0,17403	10
38	<a href="#">Log-Pearson 3</a>	0,15405	6
39	<a href="#">Logistic</a>	0,22322	36
40	<a href="#">Lognormal</a>	0,20464	29
41	<a href="#">Lognormal (3P)</a>	0,20372	28
42	<a href="#">Nakagami</a>	0,27877	45
43	<a href="#">Normal</a>	0,20058	26
44	<a href="#">Pareto</a>	0,37094	54
45	<a href="#">Pareto 2</a>	0,18686	15
46	<a href="#">Pearson 5</a>	0,36589	52

47	<a href="#">Pearson 5 (3P)</a>	0,22684	37
48	<a href="#">Pearson 6</a>	0,19377	23
49	<a href="#">Pearson 6 (4P)</a>	0,19217	19
50	<a href="#">Pert</a>	0,19105	17
51	<a href="#">Power Function</a>	0,18701	16
52	<a href="#">Rayleigh</a>	0,3046	47
53	<a href="#">Rayleigh (2P)</a>	0,20626	30
54	<a href="#">Reciprocal</a>	0,41891	55
55	<a href="#">Rice</a>	0,33778	50
56	<a href="#">Student's t</a>	0,98666	60
57	<a href="#">Triangular</a>	0,21732	33
58	<a href="#">Uniform</a>	0,15009	4
59	<a href="#">Weibull</a>	0,16207	8
60	<a href="#">Weibull (3P)</a>	0,18531	13
61	Johnson SU	No fit	

## LAMPIRAN E

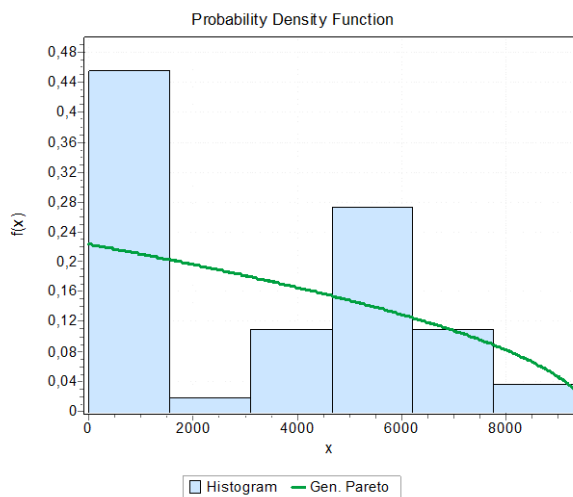
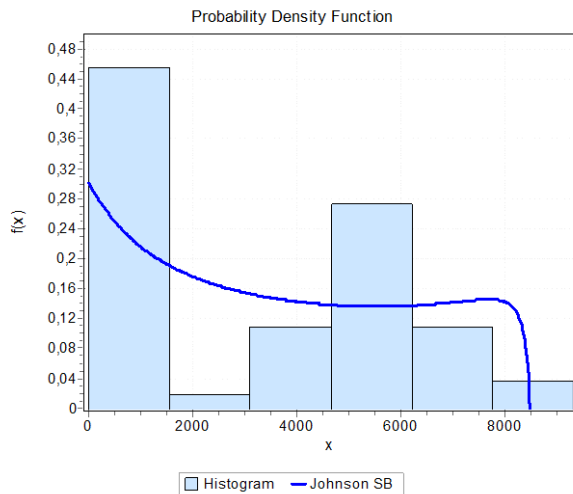
### Estimasi Parameter Distribusi Data Lifetime Transformator

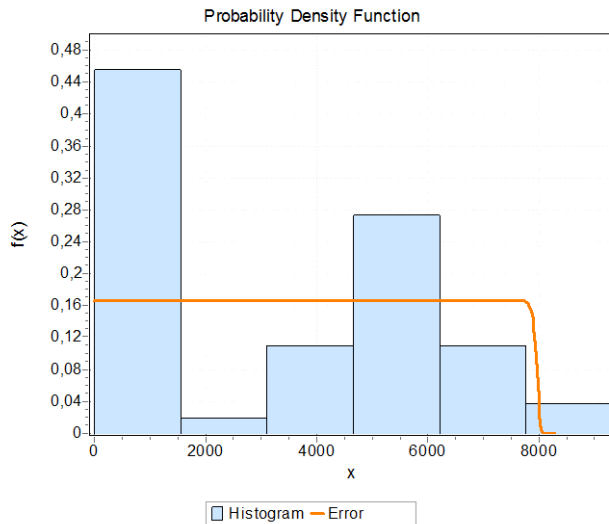
#	Distribution	Parameters
1	Beta	$\alpha_1=0,60106$ $\alpha_2=1,2817$ $a=6,0$ $b=9307,0$
2	Burr	$k=7,7534E+10$ $\alpha=1,0086$ $\beta=2,0576E+14$
3	Burr (4P)	$k=0,26391$ $\alpha=0,67029$ $\beta=7,1314$ $\gamma=6,0$
4	Cauchy	$\sigma=2270,1$ $\mu=2984,9$

5	Chi-Squared	$\nu=3276$
6	Chi-Squared (2P)	$\nu=8297 \quad \gamma=-2518,5$
7	Dagum	$k=0,05269 \quad \alpha=11,657 \quad \beta=7959,9$
8	Dagum (4P)	$k=2,7765 \quad \alpha=0,22827$ $\beta=0,4446 \quad \gamma=6,0$
9	Erlang	$m=1 \quad \beta=2221,7$
10	Erlang (3P)	$m=1 \quad \beta=3270,4 \quad \gamma=5,9948$
11	Error	$k=100,0 \quad \sigma=2697,9 \quad \mu=3276,2$
12	Error Function	$h=2,6209E-4$
13	Exponential	$\lambda=3,0524E-4$
14	Exponential (2P)	$\lambda=3,0580E-4 \quad \gamma=6,0$
15	Fatigue Life	$\alpha=2,5211 \quad \beta=616,42$
16	Fatigue Life (3P)	$\alpha=1,3279 \quad \beta=1761,3 \quad \gamma=-163,35$
17	Frechet	$\alpha=0,6068 \quad \beta=614,74$
18	Frechet (3P)	$\alpha=7,0189E+6 \quad \beta=1,5377E+10 \quad \gamma=-1,5377E+10$
19	Gamma	$\alpha=1,4746 \quad \beta=2221,7$
20	Gamma (3P)	$\alpha=0,75285 \quad \beta=4336,7 \quad \gamma=6,0$
21	Gen. Extreme Value	$k=-0,11586 \quad \sigma=2428,2 \quad \mu=2126,6$
22	Gen. Gamma	$k=0,78514 \quad \alpha=1,2142 \quad \beta=2221,7$
23	Gen. Gamma (4P)	$k=6,8115 \quad \alpha=0,08243$ $\beta=8929,4 \quad \gamma=6,0$
24	Gen. Pareto	$k=-0,64433 \quad \sigma=6646,5 \quad \mu=-765,92$
25	Gumbel Max	$\sigma=2103,5 \quad \mu=2062,0$

26	Gumbel Min	$\sigma=2103,5$ $\mu=4490,4$
27	Hypersecant	$\sigma=2697,9$ $\mu=3276,2$
28	Inv. Gaussian	$\lambda=4831,1$ $\mu=3276,2$
29	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=571,8$ $\mu=3330,3$ $\gamma=5,6085$
30	Johnson SB	$\gamma=0,25444$ $\delta=0,54054$ $\lambda=9048,1$ $\xi=-577,03$
31	Kumaraswamy	$\alpha_1=1,0$ $\alpha_2=1,2$ $a=6,0$ $b=9307,0$
32	Laplace	$\lambda=5,2419E-4$ $\mu=3276,2$
33	Levy	$\sigma=202,71$
34	Levy (2P)	$\sigma=869,59$ $\gamma=-127,2$
35	Log-Gamma	$\alpha=20,558$ $\beta=0,35804$
36	Log-Logistic	$\alpha=0,94528$ $\beta=1521,9$
37	Log-Logistic (3P)	$\alpha=1,1318$ $\beta=1956,6$ $\gamma=-2,9168$
38	Log-Pearson 3	$\alpha=2,5912$ $\beta=-1,0085$ $\gamma=9,9739$
39	Logistic	$\sigma=1487,4$ $\mu=3276,2$
40	Lognormal	$\sigma=1,6086$ $\mu=7,3607$
41	Lognormal (3P)	$\sigma=1,2108$ $\mu=7,6076$ $\gamma=-146,91$
42	Nakagami	$m=0,75181$ $\Omega=1,7880E+7$
43	Normal	$\sigma=2697,9$ $\mu=3276,2$
44	Pareto	$\alpha=0,17957$ $\beta=6$
45	Pareto 2	$\alpha=94,324$ $\beta=3,1159E+5$
46	Pearson 5	$\alpha=2,8702$ $\beta=4349,6$

47	Pearson 5 (3P)	$\alpha=0,50222$ $\beta=244,68$ $\gamma=5,6564$
48	Pearson 6	$\alpha_1=0,80758$ $\alpha_2=1,2776E+8$ $\beta=5,1842E+11$
49	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=8,3911$ $\alpha_2=3,9696$ $\beta=1785,8$ $\gamma=-1558,7$
50	Pert	$m=6,0$ $a=6,0$ $b=18838,0$
51	Power Function	$\alpha=0,40179$ $a=6,0$ $b=9492,5$
52	Rayleigh	$\sigma=2614,0$
53	Rayleigh (2P)	$\sigma=3794,5$ $\gamma=-1376,8$
54	Reciprocal	$a=6,0$ $b=9307,0$
55	Rice	$\nu=1,1758$ $\sigma=2990,0$
56	Student's t	$\nu=2$
57	Triangular	$m=515,49$ $a=4,8$ $b=9307,0$
58	Uniform	$a=-1396,7$ $b=7949,1$
59	Weibull	$\alpha=0,70896$ $\beta=3306,5$
60	Weibull (3P)	$\alpha=0,85544$ $\beta=3181,6$ $\gamma=6,0$
61	Johnson SU	No fit

**LAMPIRAN F****Plot Distribusi Data Lifetime Transformator**



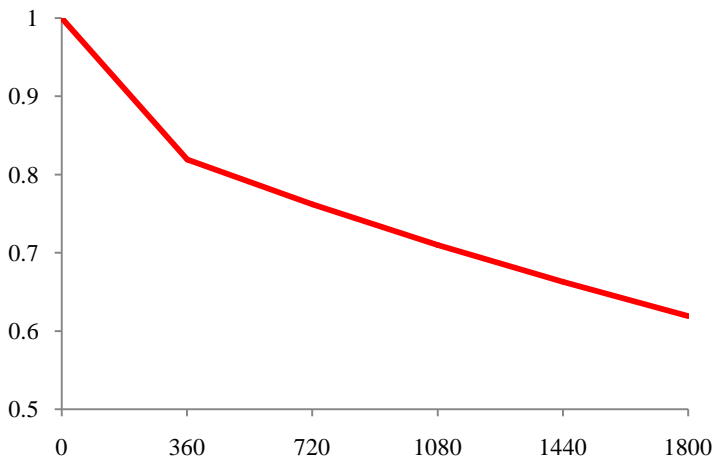
## LAMPIRAN G

### Statistika Deskriptif Data Gabungan

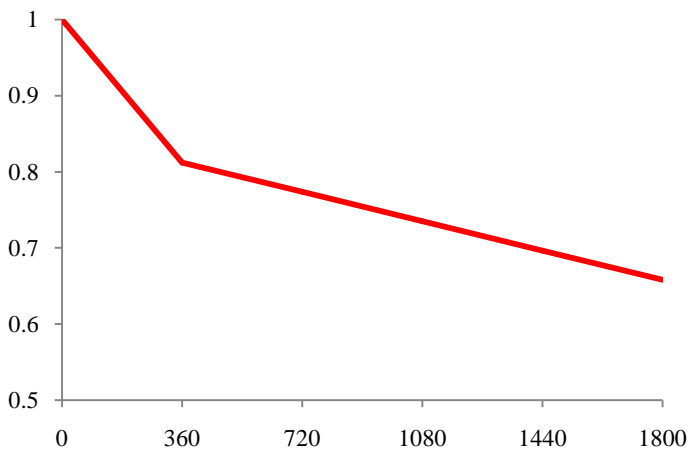
#### Descriptive Statistics: Data Gabungan

Variable	Mean	StDev	Variance	Median	Skewness	Kurtosis
Gabungan	3416	2750	7562290	3744	0,20	-1,27



**LAMPIRAN H****Plot Reliabilitas Distribusi Johnson Sb dan Error**

Plot Reliabilitas Distribusi Johnson Sb

Plot Reliabilitas Distribusi *Generalized* Error

**LAMPIRAN I**  
**Nilai C(tp) Bulanan**

<b>tp</b>	<b>C(tp)</b>
30	Rp1,747,197
60	Rp1,740,642
90	Rp1,735,000
120	Rp1,730,272
150	Rp1,726,455
180	Rp1,723,552
210	Rp1,721,562
240	Rp1,720,484
270	Rp1,720,319
300	Rp1,721,067
330	Rp1,722,728
360	Rp1,725,302

<b>tp</b>	<b>C(tp)</b>
390	Rp1,728,789
420	Rp1,733,189
450	Rp1,738,502
480	Rp1,744,728
510	Rp1,751,867
540	Rp1,759,919
570	Rp1,768,884
600	Rp1,778,762
630	Rp1,789,553
660	Rp1,801,257
690	Rp1,813,875
720	Rp1,827,405

**LAMPIRAN J**  
**Nilai C(tp) Tahunan**

<b>tp</b>	<b>C(tp)</b>
360	Rp3,381,433
390	Rp3,377,181
420	Rp3,373,855
450	Rp3,371,455
480	Rp3,369,980
510	Rp3,369,432
540	Rp3,369,809
570	Rp3,371,113
600	Rp3,373,343
630	Rp3,376,498
660	Rp3,380,580
690	Rp3,385,589
720	Rp3,391,523

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 1 Januari 1991. Putri pertama dari dua bersaudara ini bernama lengkap Tutut Januar dan akrab disapa Tutut. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal yaitu lulus dari TK Putra Airlangga tahun 1997, lulus dari SD Negeri Suko II tahun 2003, lulus dari SMP Negeri 1 Taman tahun 2006, lulus dari SMA Negeri 4 Sidoarjo pada tahun 2009. Selanjutnya penulis diterima di Jurusan Statistika FMIPA-ITS tahun 2009 melalui jalur masuk program studi Diploma III berdasarkan pilihan pertama sebagai Sigma-20 dan terdaftar dengan NRP 1309 030 016. Penulis lulus pada tahun 2012 dan melanjutkan studi ke jenjang sarjana melalui program Lintas Jalur Jurusan Statistika FMIPA-ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 1312 106 004. Selama kuliah penulis aktif dalam beberapa kegiatan maupun organisasi. Selama menempuh studi di jenjang sarjana, penulis juga telah bekerja sebagai staf data dan *research* di PT Enciety Bussiness Consult. Dengan motto “jangan hanya menuntut perubahan tetapi ciptakanlah perubahan” membuat penulis selalu berusaha melakukan yang terbaik dalam segala hal. Bagi pembaca yang memiliki saran atau kritik, dapat disampaikan melalui e-mail: [nuarchiizz@gmail.com](mailto:nuarchiizz@gmail.com).